



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

**HEGEDŰS GERGELY, MOLNÁR PÉTER,
DARUKA NORBERT: *Robbanóanyag-
feldolgozó üzem létesítésének
technológiai előkészítése***

**SZALKAI LÁSZLÓ: *Additív gyártási
technológiával előállított idomtöltetek
alkalmazhatóságának kérdése
a rendvédelmi, speciális feladatokat
ellátó egységeknél***

**EMBER ISTVÁN: *Defence Industry
Applications for Multi-Material
Additive Manufacturing***

**35. évf. (2025)
3–4. szám**

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



**LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ**

Műszaki Katonai Közlöny

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kara, valamint a Magyar Hadtudományi Társaság Műszaki Szakosztályának elektronikus (online) megjelenésű tudományos folyóirata.

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

Főszerkesztő

Kovács Zoltán

Szerkesztőbizottság elnöke

Padányi József

Szerkesztőbizottság

Cibulová Klára

Daruka Norbert

Elek Barbara Júlia

Ember István

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Lukács László

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Harctámogató Tanszék

1101 Budapest, Hungária krt. 9–11. A épület, 949. iroda

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15

E-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

Telefon: +36 1 432 9000/29 539 • HM 02-22-9539

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Ludovika Egyetemi Kiadó

Kapcsolat: www.ludovika.hu; kiadvanyok@uni-nke.hu

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószerkesztők: Bujdosó Hajnalka, Molnár Annamária, Resofszi Ágnes

Tördelőszerkesztő: Dobos Gergely



Tartalom

| | |
|--|-----|
| Hegedűs Gergely, Molnár Péter, Daruka Norbert Robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésének technológiai előkészítése | 5 |
| Szalkai László Additív gyártási technológiával előállított idomtöltetek alkalmazhatóságának kérdése a rendvédelmi, speciális feladatokat ellátó egységeknél | 25 |
| István Ember Defence Industry Applications for Multi-Material Additive Manufacturing | 39 |
| Brenda Dalma Barbara, Kanyó Ferenc, Horváth Galina, Vásárhelyi-Nagy Ildikó A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 2. rész | 47 |
| Pap Andrea, Vég Róbert László Térszemlélet fejlesztése a katonai logisztikában 3D-nyomtatás és számítógéppel támogatott műszaki modellezés (CAD) által – 1. rész | 69 |
| Horváth Zoltán Az energiabiztonság pénzügyi és gazdasági kihatásainak elemzése | 85 |
| Igaz-Danszky Tamás A Pajzs tömeges események kezelésével kapcsolatos legújabb fejlesztéseinek vizsgálata | 109 |
| Komlai Krisztina A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelőségének kihívásai | 125 |
| Éva Etelka Gyöngyössi Fire Hazard of Fire-Resistant Cables Below the Ignition Point | 139 |

Hegedűs Gergely,¹  Molnár Péter,²  Daruka Norbert³ 

Robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésének technológiai előkészítése

Technological Preparation for the Establishment of an Explosives Processing Plant

Egy új ipari létesítmény – különösen, ha robbanóanyagok feldolgozására szolgál – megvalósítása lehetőséget biztosít arra, hogy a gyártási technológia igényeihez igazodó, korszerű és a legmagasabb biztonsági előírásokat és védőintézkedéseket szem előtt tartó helyiségek, épületek és infrastruktúra jöjjön létre. A nulláról történő tervezés lehetővé teszi, hogy a létesítmény kialakítása ne csak a hatályos magyar jogszabályi környezet követelményeire, de a nemzetközi szinten elismert műszaki megoldásokra is épüljön. Ezáltal biztosítható egy olyan gyártókörnyezet létrehozása, amely egyszerre támogatja a hatékony termelést, és garantálja a robbanásveszéllyel járó folyamatok nagyfokú biztonságát. A gyárépítés építészeti tervezési, kivitelezési fázisát megelőzi egy alapos, a gyártási technológiára koncentrált előkészítő, illetve a technológiai környezet kialakítására irányuló tervezési szakasz, amelynek során meghatározzák a gyártási folyamatokat befolyásoló műszaki paramétereket, valamint azok technológiai, biztonsági, térbeli és szervezési követelményeit. A tanulmány célja, hogy áttekintést adjon ezen kezdeti lépések technológiai előkészítési szakaszának főbb aspektusairól, különös tekintettel azokra a tényezőkre, amelyek döntőek a gyártási infrastruktúra kialakításában.

Kulcsszavak: robbanóanyag-feldolgozó üzem, biztonsági követelmények, technológiai tervezés, kockázatértékelés, nemzetközi szabványok

¹ Robbantástechnikai szakmérnök; műszaki igazgató, Hirtenberger Defence Systems, e-mail: gergely.hegedus@hirtenberger.com

² Robbantástechnikai szakmérnök; ügyvezető igazgató, Hirtenberger Defence Systems, e-mail: peter.molnar@hirtenberger.com

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök; a katonai műszaki tudományok habilitált PhD-fokozatos, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

The implementation of a new industrial installation, especially one for the processing of explosives, provides an opportunity to create state-of-the-art premises, buildings and infrastructure adapted to the needs of the production technology and taking into account the highest safety standards and protective measures. Designing from scratch will allow the design of the facility to be based not only on the requirements of the current Hungarian legal environment but also on internationally recognised technical solutions. This will ensure the creation of a manufacturing environment that both supports efficient production and guarantees a high level of safety for processes involving the risk of explosion. The architectural design and construction phase of the factory is preceded by a thorough preparatory and technological design phase, focusing on the production technology, during which the technical parameters that will determine the production processes and their technological, safety, spatial and organisational requirements are defined. The purpose of this paper is to provide an overview of the main aspects of the technological preparation phase of these initial steps, with particular emphasis on those factors that are crucial to the design of the manufacturing infrastructure.

Keywords: *explosives processing plant, safety requirements, technological design, risk assessment, international standards*

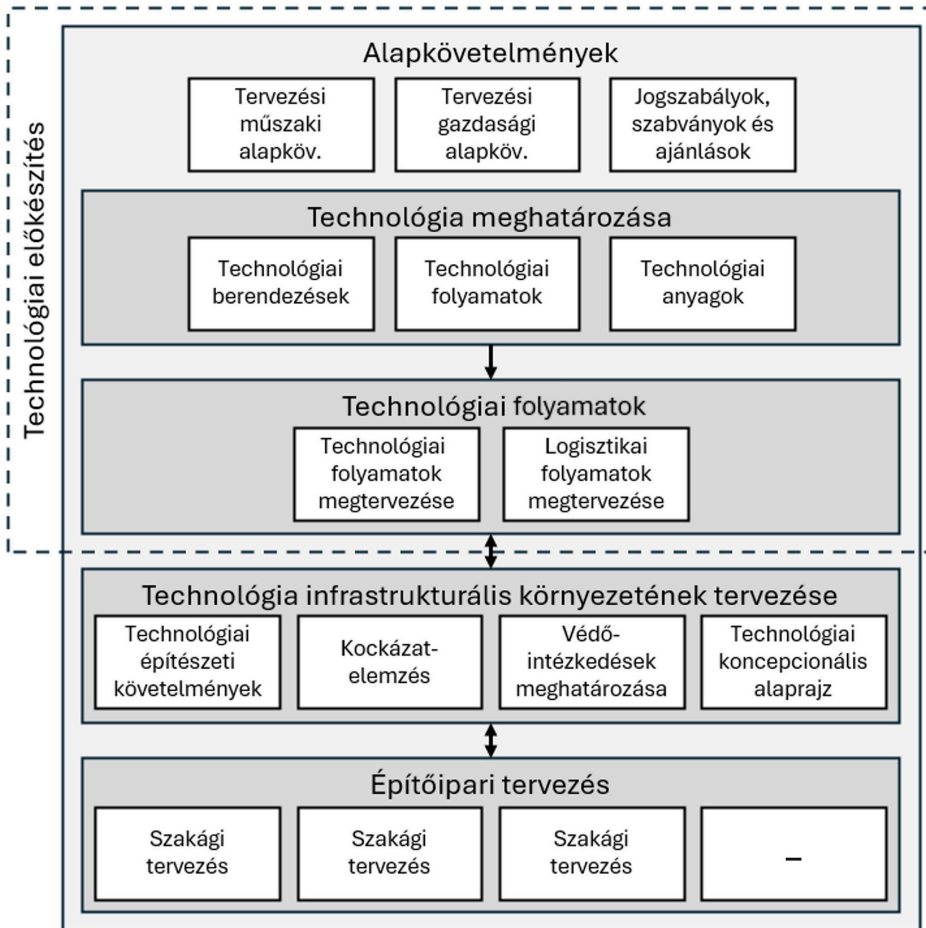
Bevezetés

Új robbanóanyag-feldolgozó létesítmény megvalósítása lehetőséget biztosít arra, hogy a gyártási technológia igényeihez igazodó, korszerű és a legmagasabb biztonsági előírásokat és védőintézkedéseket szem előtt tartó helyiségek, épületek és infrastruktúra jöjjön létre.

Az alkalmazott gyártási technológia főbb paramétereit nagymértékben meghatározzák az egyes technológiai szakaszokban alkalmazott nyersanyagok, az azokból előállított félkész és késztermékek, az alkalmazott berendezések, illetve a technológiai, logisztikai folyamatok. Nem csoda, hogy ezen befolyásoló tényezők rendszerszintű feltérképezése és a technológiai kapcsolatos folyamatok megtervezése elengedhetetlen a megfelelő gyártócsarnokok és üzemterület megtervezéséhez, kialakításához. Mindezek mellett figyelmet kell fordítani a jogszabályi és szabványi megfelelésre, amely alapvető a jövőbeni működés szakszerű és biztonságos megvalósításához.

Egy ilyen fejlesztési projekt jellege interdiszciplináris együttműködést kíván meg, és a fejlesztés számos szakterületet érint. Az új ipari létesítmény megvalósításának tervezési folyamata (1. ábra) három fő szakaszra bontható, amelyek a következők:

- a technológiai előkészítés;
- a technológia környezetének megtervezése;
- az építészeti és infrastrukturális tervezési fázisok.



1. ábra: Robbanóanyag-feldolgozó üzem fejlesztésének lépései

Forrás: a szerzők szerkesztése

A gyártóüzem építési engedélyeztetését és a kivitelezéséhez szükséges terveket az építészeti szakágak mérnökei dolgozzák ki, akik vállalják a felelőséget munkájuk minőségéért és megfeleléséért. Azonban fontos kiemelni, hogy az építészeti tervezés csak akkor végezhető el sikeresen, ha a technológiai előkészítés során megfogalmazott követelményrendszert rögzítő dokumentumok rendelkezésre állnak, hiszen ezek alapvetően meghatározzák a további tervezési folyamatokat.

Ezenkívül az építészeti és technológiai tervezési fázisok nem lineárisan, egymást követve, hanem párhuzamosan, gyakori visszacsatolások, iterációk és finomítások révén zajlanak, biztosítva a multidiszciplináris megfelelést, kölcsönös összhangot és a kívánt szintű

eredmény elérését. Az 1. ábra szemlélteti az egyes lépések közötti logikai kapcsolatokat és azok sorrendjét.

A gyártóhely területének, valamint a gyártási folyamatokhoz kapcsolódó épületek tervezésének és a technológiai előkészítési–tervezési tevékenységeknek az alapja a kapcsolódó jogi környezet, a vonatkozó szabványok és szakirodalom megismerése.

A szakirodalom jelentősége

A fejlesztési folyamat sikeres megvalósításához elengedhetetlen a megfelelő szakirodalom alapos ismerete.⁴ Egy új ipari beruházás tervezése, kivitelezése és üzembe helyezése, továbbá a teljes gyártási technológia tervezése és telepítése, valamint a logisztikai és egyéb támogató rendszerek kialakítása több szakterület összehangolt munkáját igényli.⁵ Minden egyes terület rendelkezik saját szakirodalmi háttérrel, amely irányt mutat a megfelelő megoldások kiválasztásában.

A fejlesztéssel kapcsolatos műszaki követelmények legfontosabb forrásai a jogszabályi előírások, amelyek meghatározzák a kötelezően betartandó műszaki és biztonsági normákat. E jogszabályok érvényesítését harmonizált szabványok alkalmazásával lehet biztosítani. Ezen kívül léteznek más, mind belföldön, mind nemzetközi szinten elfogadott műszaki szabványok, irányelvek és publikációk, amelyek további segítséget nyújtanak a fejlesztési folyamat során.

Magyarországi jogi előírások

A fejlesztési munkák során a legfontosabb iránymutatók közé tartoznak a hatályos magyar jogszabályok,⁶ amelyek betartása minden érintett fél számára kötelező. A jogi szabályozás minden szakterületre vonatkozóan meghatározza azokat a minimális követelményeket, amelyeknek minden fejlesztési folyamat során meg kell felelni.

A tervezés, kivitelezés és üzemeltetés szempontjából a legfontosabb jogi előírások például az építészeti, statikai, környezetvédelmi, épületvillamossági, tűzvédelmi, épületgépészeti, üzemeltetési és munkavédelmi területeket, valamint a technológiai berendezések megfelelő működésére vonatkozó követelményeket tartalmazzák.

A robbanóanyagokkal kapcsolatos feldolgozóüzemek esetén a jogszabályi környezet további, specifikus követelményeket is előír, amelyek figyelembevétele a robbantástechnikai előírások terén elengedhetetlen. Ezek a szabályozások különbséget tesznek a katonai és polgári célú fejlesztések között, és bár a magyar jogi keretrendszer tartalmazza a robbanóanyagokkal kapcsolatos követelményeket, ezek több esetben elavultak, és nem tükrözik a legújabb

⁴ Center for Chemical Process Safety 2010; CROWL–LOUVAR 2022.

⁵ Center for Chemical Process Safety 2010; CROWL–LOUVAR 2022.

⁶ 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet.

műszaki színvonalat, sem az új üzemek létesítéséhez szükséges specifikus elvárásokat (például Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat⁷).

Nemzetközi irányelvek és szabályozások

Bár a nemzetközi irányelvek, szabályozások és szabványok betartása nem minden esetben kötelező, ezek ismerete rendkívül fontos a korszerű gyártóüzem tervezése és biztonságának biztosítása szempontjából.⁸ A nemzetközi irányelvek gyakran naprakészen tükrözik a legújabb tudományos kutatásokat és technológiai fejlesztéseket, és folyamatosan frissülnek, hogy a legmodernebb iparági és biztonsági elvárásoknak megfeleljenek.⁹ Az ezen irányelvek szerinti tervezés jelentős mértékben hozzájárul egy új üzem megfelelő működéséhez, valamint az iparági normáknak való megfeleléshez, biztosítva ezzel a maximális biztonságot és hatékonyságot.¹⁰ Többek között a következő okmányok előírásait ajánlott figyelembe venni egy robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésénél:

- International Ammunition Technical Guidelines (IATG);
- AASTP-01 Ed. C Ver. 1 NATO Guidelines for The Storage of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4440);
- AASTP-1.1 Ed. A Ver. 1 Manual for The Development of An Explosives Safety Site Plan Based On Aastp-1;
- AASTP-1.2 Ed. A Ver. 1 Development of NATO Debris and Fragment Distance Curves for Aastp-1;
- AASTP-1.3 Ed. A Ver. 1 Nationally Approved Structures for Explosives Areas;
- AASTP-03 Ed. 1 Ver. 3 Manual of NATO Safety Principles for The Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4123);
- STANAG 4442 Ed. 1 (AASTP-4) Application of Risk Analysis to The Storage and Transport of Military Ammunition and Explosives;
- AASTP-04 Vol. PART I Ed. 1 Ver. 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Guidelines for Risk-Based Decisions;
- AASTP-04 Vol. PART II Ed. 1 Ver. 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Technical Background;
- AASTP-05 Ed. B Ver. 1 NATO Guidelines for The Storage, Maintenance and Transport of Ammunition On Deployed Missions Or Operations;
- AMovP-6 Allied Multi-Modal Transportation of Dangerous Goods Directive;
- DIN VDE V 0166:2011-04 Errichten elektrischer Anlagen in Bereichen, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften gefährdet sind;
- DGUV-113-008 04.2001 – Pyrotechnic;
- DGUV-113-017 Tätigkeiten mit Explosivstoffen;

⁷ 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet.

⁸ DoD - DESR 6055.09 2020; STANAG 4440 2019; STANAG 4442 2024.

⁹ AASTP-5 2020; DSA 03.OME Part 2.

¹⁰ AASTP-5 2020.

- TRGS-526 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Laboratorien;
- DESR 6055.09 Defense Explosives Safety Regulation;
- DoD Directive 6055.09E;
- UFC 3-340-02 (TM5-1300) – Unified Facilities Criteria – Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions;
- UFC-3-340-01 (DAHS-CWE) – Design of Hardened Structures for Conventional Weapons Effects;
- DDESB TP-10 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Methodology for Chemical Hazard Prediction;
- DDESB TP-12 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Fragment and debris hazard;
- DDESB TP-13 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Software Update;
- DDESB TP-15 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Approved Protective Construction;
- DDESB TP-16 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Methodologies for calculating Primary Fragment Characteristics;
- DDESB TP-17 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Blast scaling;
- DDESB TP-18 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Minimum Qualifications for Unexploded Ordnance (UXO) Technicians and Personnel;
- DDESB TP-20 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Blast Effects Computer – Open (BEC-O) Version 1 User’s Manual and Documentation, 11 June 2018;
- DDESB TP-21 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Procedures for the Collection, Analysis, and Interpretation of Explosion-Produced Debris-Revision 2;
- DDESB TP-23 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Assessing Explosives Safety Risks, Deviations, and Consequences;
- DDESB TP-26 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Guidance for Required Explosives Safety Submissions;
- DDESB TP-27 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Explosives Safety Training;
- DDES Issuances;
- DoD Instruction (6055.16.; 4145.26.; 4140.62.);
- CJCSI 4360.01;
- DOE-STD-1212 Department of Energy Technical Standard – Explosives Safety;
- DOE/TIC-11268 Department of Energy a Manual for the Prediction of Blast and Fragment Loadings on Structures;
- EIG – Explosives Industry Group – The Use of Structural Justification to Underpin An
- HSE/ONR Explosives Licence;
- DSA03 OME Part 2 (korábban JSP 482).

A gyár területének, valamint a gyártási folyamatokhoz kapcsolódó épületek tervezésének és a technológiai előkészítési–tervezési tevékenységeknek további alapját a tervezési követelmények pontos meghatározása képezi.

A tervezési alapkövetelmények definiálása

A gyárterület és az ahhoz tartozó gyártási épületek tervezése, valamint a technológiai előkészítési és tervezési tevékenységek kezdeti szakasza a tervezési alapkövetelmények világos meghatározásával kezdődik.¹¹ Ekkor kerül sor a tervezéshez szükséges alapfeltevések, információk és követelmények pontos rögzítésére, amelyek kijelölik a további tervezési folyamatok irányát.¹²

A gyártóüzem kialakításához kapcsolódó feladatok és felelőségek pontos meghatározása kulcsfontosságú.¹³ A fejlesztésben részt vevő minden szakember számára világosan rögzíteni kell a feladatokat és az azok elvégzéséért való felelősségvállalást.

A tervezési folyamat során figyelembe kell venni a fizikai biztonsági követelményeket, a tervezett kapacitásokat, a gazdasági megfontolásokat, a különböző részlegek és technológiai igények specifikációját, valamint a telephely és az épületek elrendezését.¹⁴

A kockázatértékelési módszertan részletezése

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésének egyik meghatározó eleme a kockázatértékelés, amelynek célja a lehetséges veszélyforrások azonosítása és a megfelelő védelmi intézkedések meghatározása.¹⁵ A nemzetközi iparbiztonsági gyakorlatban több módszertan is elterjedt, így például:

- HAZOP (*hazard and operability study*): rendszeres, strukturált módszer, amely a folyamatok, berendezések és üzemeltetési paraméterek eltéréseit vizsgálja, és feltárja azok lehetséges veszélyforrásait;¹⁶
- FMEA (*failure modes and effects analysis*): a berendezések és a folyamatok hibamódjainak feltérképezésére és a hatások rangsorolására szolgál;¹⁷
- csokornyakkendő elemzés: grafikus megközelítés, amely egy adott veszély bekövetkezésének megelőző és következménycsökkentő intézkedéseit vizualizálja;¹⁸
- QRA (*quantitative risk assessment*): számszerűsített kockázatelemzés, amely valószínűségi és következménymodelleket használ a biztonsági távolságok, robbanási nyomás és fragmentációs kockázat meghatározásához.¹⁹

¹¹ LEES 2012.

¹² Center for Chemical Process Safety 2010.

¹³ Center for Chemical Process Safety 2010.

¹⁴ CROWL–LOUVAR 2022.

¹⁵ BOSCH–WETERINGS 2005; Center for Chemical Process Safety 2018; MANNAN 2013.

¹⁶ Center for Chemical Process Safety 2010.

¹⁷ CROWL–LOUVAR 2022.

¹⁸ Center for Chemical Process Safety 2018.

¹⁹ BOSCH–WETERINGS 2005.

A módszerek kombinált alkalmazása lehetővé teszi a különböző típusú kockázatok (például robbanási, tűzvédelmi, környezeti, üzemeltetési) teljes körű feltárását és kezelését.²⁰ A kockázatelemzés eredménye tervezési bemeneti adat, amely meghatározza az üzem biztonsági koncepcióját, az alkalmazandó védőtávolságokat, valamint a kritikus folyamatokhoz szükséges műszaki és szervezési intézkedéseket.

Fizikai biztonság

A tervezési folyamatok során az alapvető biztonsági követelmények képezik az alapot a fizikai védelmi rendszerek részletes tervezéséhez.²¹ Ezeknek a követelményeknek tartalmazniuk kell a különböző biztonsági szintek, valamint a védelmi struktúrák elrendezését, és tisztázniuk kell a felelősségi köröket a telephely különböző területeire vonatkozóan.

A biztonsági tervezés során figyelembe kell venni többek között a gyártóhely közvetlen és közvetett környezetét, annak védelmét, a személy- és áruforgalomra vonatkozó logisztikai kapcsolatait és útvonalait, a biztonságért és védelemért felelős személyek feladatait, a vészhelyzeti eljárásokat, valamint a logisztikai és robbanóanyag-tárolási területek biztonsági követelményeit.²²

Kapacitás

A tervezési alapidokumentumokban szereplő egyik kulcsadat az elvárt gyártási kapacitás meghatározása. Az üzem kibocsátási követelményeit mind a gyártástechnológia, mind az infrastrukturális tervezés során figyelembe kell venni. A kapacitásadatok befolyásolják a gyártósorok számát, a raktározási igényeket, az alapanyag-ellátási láncot és a logisztikai folyamatok méretezését.²³

Gazdasági aspektusok

Tekintettel arra, hogy a robbanóanyagok gyártása, kezelése és feldolgozása különleges elvárásokat támaszt a biztonsági, technológiai és személyi peremfeltételeket illetően, ezek jelentős költségvonzattal járnak mind beruházási, mind operatív szinten. A rendszer tervezésekor a gazdasági és gazdaságossági szempontok figyelembevétele, valamint az egyes megoldások költség-haszon elemzése alapvető fontosságú a hosszú távú fenntarthatóság biztosítása érdekében.²⁴

²⁰ LEES 2012; MANNAN 2013.

²¹ DoD - DESR 6055.09 2020; IATG 2021.; DSA 03.OME Part 2.

²² IATG 2021.

²³ LEES 2012.

²⁴ Basel Convention Secretariat 2019; Nammo AS. 2022.

Telephely és épületek

Az alapkövetelmények tartalmazzák az építendő objektumok számának, elrendezésének, valamint azok alapterületének, továbbá a bővítési lehetőségek koncepcionális meghatározását.²⁵ Figyelembe kell venni a robbanóanyag és az inert anyagok tárolására szolgáló raktárak kapacitásigényeit, a biztonsági távolságokat, a robbanásnyomás-csökkentő megoldásokat (például kifúvófelületek),²⁶ valamint a speciális megerősítések szükségességét.²⁷

Digitalizáció és Ipar 4.0 megoldások a biztonság szolgálatában

Az ipar 4.0 technológiák bevezetése új lehetőségeket teremt a robbanóanyag-feldolgozó üzemek biztonságának növelésére és az üzemeltetés hatékonyságának javítására:²⁸

- IoT-alapú állapotfigyelés: szenzorhálózatok folyamatosan monitorozzák a kritikus berendezések működését, a hőmérsékletet, a páratartalmat, a nyomást és a gáz-koncentrációt;
- prediktív karbantartás: gépi tanulási algoritmusok a szenzoradatok alapján előre jelzik a berendezések meghibásodásának valószínűségét, lehetővé téve a tervezett beavatkozást;
- digitális iker (*digital twin*): az üzem virtuális mása, amelyen szimulációval vizsgálhatók a folyamatok, optimalizálhatók a biztonsági intézkedések, és modellezhető a vészhelyzetek;
- automatikus leállítási rendszerek: intelligens vezérlőlogika, amely azonnal leállítja a veszélyes folyamatokat a paraméterek határértékének túllépése esetén.

Ezek a megoldások nemcsak a biztonságot növelik, hanem a karbantartási költségeket is csökkenthetik, miközben javítják a termelés folyamatosságát és megbízhatóságát.

Fenntarthatósági szempontok és környezeti megfelelés

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek esetében a fenntarthatóság különösen fontos, mivel a gyártás során keletkező veszélyes hulladékok és melléktermékek kezelése jelentős környezeti kockázatot hordoz.²⁹ Az alábbi szempontok integrálása növeli az üzem hosszú távú fenntarthatóságát és jogszabályi megfelelését:

- energiahatékonyság: robbanásbiztos, mégis alacsony fogyasztású berendezések alkalmazása, hővisszanyerés, LED- (*light emitting diode*) világítás, valamint megújuló energiaforrások integrálása a technológiai rendszerekbe;

²⁵ IATG 2021.

²⁶ BOSCH-WETERINGS 2005.

²⁷ AASTP-5 2020; DSA 03.OME Part 2.

²⁸ Center for Chemical Process Safety 2010; Nammo AS. 2022.

²⁹ Basel Convention Secretariat 2019; United Nations 2015.

- hulladékgazdálkodás: zárt rendszerű gyűjtés és újrahasznosítás, valamint a veszélyes anyagok ártalmatlanítása nemzetközi előírások (például bázeli egyezmény) szerint;
- vízgazdálkodás: technológiai víz körforgásos felhasználása, víztisztító berendezések beépítése, szennyvíz előkezelése a kibocsátás előtt;
- környezeti monitoring: folyamatos levegő-, talaj- és felszín alatti vízminőség-ellenőrzés, zaj- és rezgésszintmérés a környezeti határértékek betartásának érdekében.

A fenntarthatósági megközelítés nemcsak környezetvédelmi, hanem gazdasági előnyöket is hordoz: az energiahatékonysági és hulladékcsökkentési intézkedések hosszú távon jelentős költségmegtakarítást eredményeznek.

Humánbiztonság és képzési protokollok

A technológiai és építészeti megoldások mellett a humán tényező jelenti a biztonsági lánc egyik legfontosabb elemét.³⁰ A robbanóanyag-feldolgozó üzemek esetében különösen fontos, hogy a személyzet megfelelő képzettséggel, tapasztalattal és pszichológiai alkalmassággal rendelkezzen:

- képzési programok: minden dolgozó számára kötelező alapképzés a robbanóanyagok kezeléséről, amely kiterjed a technológiai folyamatok, a berendezések használata és a vészhelyzeti protokollok ismeretére (éves továbbképzések biztosítják a naprakész tudást);
- vészhelyzeti gyakorlatok: rendszeres, előre nem bejelentett evakuációs, tűzoltási és robbanásvédelmi gyakorlatok, amelyek célja a gyors és hatékony reagálás biztosítása;
- kompetenciaalapú munkakiosztás: magas kockázatú műveleteket kizárólag megfelelő képesítéssel és igazolt gyakorlattal rendelkező munkavállaló végezhet;
- pszichológiai alkalmassági vizsgálat: a dolgozók stressztűrésének, döntéshozatali képességének és helyzetfelismerésének felmérése a munkába állás előtt, majd rendszeres időközönként.

A humánbiztonsági intézkedések beépítése a tervezési folyamatba lehetővé teszi a személyi hibákból eredő balesetek minimalizálását, és hozzájárul a folyamatos üzembiztonság fenntartásához.

³⁰ CROWL-LOUVAR 2022; LEES 2012; MANNAN 2013.

Nemzetközi *best practice* példák

Az Észak-atlanti Szerződés Szervezete (NATO-) tagállamok és az Európai Unió (EU) több országa kiemelkedő példát mutat a robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésében és üzemeltetésében. Ezek a tapasztalatok jól illeszkednek a hazai fejlesztésekhez, mivel a biztonság, a technológiai innováció és a fenntarthatóság közös célként jelenik meg.

- Norvégia – Nammo AS üzem: Moduláris, robbanásbiztos gyártótereket alkalmaznak, amelyek rugalmasan bővíthetők. A tervezés során a NATO AASTP-1 szabvány követelményeit teljes mértékben beépítették.³¹
- Németország – ipari robbanásbiztonság: A DIN VDE (Deutsches Institut für Normung, Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) szabványok mellett kiterjedt, valós idejű digitális monitoringrendszert működtetnek, amely összeköttetésben áll az országos katasztrófavédelmi központtal.³²
- Amerikai Egyesült Államok – Department of Defense (DoD) Explosives Safety Board gyakorlat: A veszélyes folyamatok teljes mértékben távműködtetéssel zajlanak, minimálisra csökkentve a személyzet jelenlétét a robbanásveszélyes zónákban.³³
- Egyesült Királyság – JSP 482 alkalmazás: A tervezés és üzemeltetés során a biztonsági követelmények mellett a környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontokat is integrálják, különös figyelemmel a hulladékkezelésre és a zajterhelés csökkentésére.³⁴

Ezek a példák azt mutatják, hogy a legmagasabb szintű robbanásbiztonság elérése a fejlett technológiai megoldások és a szigorú szabványkövetés kombinációjával valósítható meg.

A gyártási technológia azonosítása

Egy új ipari létesítmény kialakításának egyik meghatározó lépése a teljes gyártási technológia részletes analízise és rendszerezett feltérképezése. Ennek keretében szükséges minden releváns technológiai információ begyűjtése, adott esetben továbbfejlesztése és megfelelő szintű dokumentálása, amely később alapjául szolgálhat a gyártási folyamatok megtervezésének és optimalizálásának.³⁵

A technológia tervezése során nem csupán a már ismert gyártási folyamatok és a kapcsolódó berendezések elemzése szükséges, hanem figyelmet kell fordítani az esetlegesen megváltozott jogszabályi környezetre, peremfeltételekre és a felhasznált alapanyagokra is. Ezek – tulajdonságaik, mennyiségük, kezelési és tárolási jellemzőik révén – érdemben befolyásolják a technológiai rendszer egészét, különösen biztonságtechnikai szempontból.

³¹ Nammo AS. 2022.

³² DIN VDE V 0166 2011.

³³ DoD - DESR 6055.09 2020; DESR 6055.09 2018.

³⁴ DSA 03.OME Part 2.

³⁵ CROWL-LOUVAR 2022; MANNAN 2013.

Az alkalmazott anyagok technológiai szerepe

A gyártási technológia főbb paramétereit nagymértékben meghatározzák az egyes technológiai szakaszokban alkalmazott nyersanyagok, valamint az azokból előállított félkész és késztermékek. A technológiai láncolat szakszerű kialakítása kizárólag az anyagokra, azok kémiai és fizikai tulajdonságaira, illetve az anyagáramlásra vonatkozó pontos ismeretek birtokában valósítható meg.³⁶

A gyártási egységek és műveleti terek logikai és fizikai elhatárolása – különös tekintettel a veszélyes vagy robbanásveszélyes anyagokkal végzett műveletekre – kizárólag kockázat-alapú megközelítéssel valósítható meg. A veszélyességi besorolás alapján eldönthető, mely technológiai lépések igényelnek fizikai szeparációt és különleges biztonsági intézkedéseket.

Az anyagokkal kapcsolatos alapvető információk közé tartozik a felhasználási hely, a szükséges és maximálisan tárolható, processzalható mennyiség, a csomagolási egységek típusa, valamint a biztonságos kezelésre és tárolásra vonatkozó előírások. Ezekhez az adatokhoz információt a vonatkozó biztonsági adatlapok tartalmazzák, amelyek ismerete és alkalmazása elengedhetetlen a tervezés során.

A technológiai berendezések meghatározása

A gyártósorokon alkalmazandó technológiai berendezések részletes meghatározása szintén kulcsfontosságú lépés a technológiai tervezés folyamatában. Ide tartozik a meglévő vagy tervezett eszközök műszaki dokumentációinak begyűjtése, azok szakszerű áttekintése, valamint a telepítéssel, üzembe helyezéssel és integrációval kapcsolatos tevékenységek előzetes megtervezése.³⁷

A berendezések technológiai illesztéséhez szükséges információk között szerepelnek:

- a berendezés műszaki jellemzői és üzemeltetési feltételei;
- energiaigények (elektromos, pneumatikus, hidraulikus stb.);
- kapcsolódó kezelői és karbantartási igények;
- integrálhatóság a teljes gyártási rendszerbe;
- a működéshez kapcsolódó biztonsági követelmények.

Ezen információk szisztematikus gyűjtése és kiértékelése elengedhetetlen az optimálisan működő, biztonságos és hatékony technológiai rendszer kialakításához (1. táblázat).

³⁶ BOSCH-WETERINGS 2005.

³⁷ LEES 2012.

1. táblázat: Technológiai berendezések szükséges adatai

| | | |
|---|--|---|
| <p>Berendezés adatai Berendezéscsoport megnevezése Berendezés azonosítója Berendezés megnevezése Gyártó Típus Súly (kg) Szélesség (mm) Mélység (mm) Magasság (mm) Alapterület (m²) Gyártási év Megjegyzés</p> | <p>Energiaellátásra vonatkozó adatok Feszültség (V) Áramerősség (A) Egyidejű teljesítmény (W) Maximális teljesítmény (W) Közvetlen/direkt bekötésű Másik berendezéssel való elektromos összeköttetés Berendezés jellege Teljesítményből származó hőkibocsátás mértéke</p> | <p>Dokumentáció Fotódokumentáció Használati utasítás Gépkönyv Karbantartási utasítás Karbantartási napló Beállítási utasítás Elektromos kapcsolási rajz Pótalkatrézlista Összeállítási rajz PLC-program 3D-modell CE megfelelőségi nyilatkozat</p> |
| <p>Hálózati csatlakozás LAN Csatlakozási pont WIFI-kapcsolat</p> | <p>Sűrített levegő Nyomás (bár) Maximális mennyiségi igény (m³/h) Egyidejűségi mennyiségi igény (m³/h)</p> | <p>Hidraulika Nyomás (bar) Volumenigény (m³/h) Csatlakozó mérete, típusa</p> |
| <p>Szellőztetés, lokális elszívás Maximális elszívott légmennyiség (m³/h) Egyidejű elszívott légmennyiség (m³/h) Beszívott légmennyiség (m³/h) Légvezeték-csőátmérő (mm) Légszűrő típusa</p> | | <p>Víz Nyomás (bár) Maximális mennyiségi igény (m³/h) Egyidejűségi mennyiségi igény (m³/h) Vízcsatlakozó mérete Használat gyakorisága Víz minősége</p> |

Forrás: a szerzők szerkesztése

A gyártórendszer tervezéséhez sok esetben rendelkezésre áll már meglévő gyártókapacitás; e technológiai berendezések részletes felméréseivel párhuzamosan lehetőség van azok kapacitásának meghatározására, valamint az eszközök közötti funkcionális összefüggések feltárására és a legjobb gyakorlatok átvételére. E vizsgálatok és analízis alapján kijelölhetők azok az eszközök, berendezések, amelyek kapcsolt technológiai egységet képeznek, és így együttesen egy berendezéscsoportot, egy komplett munkaállomást vagy adott esetben egy összefüggő gyártósort alkotnak.

A gyártósor elemeinek áttekintését követően – figyelembe véve a feldolgozandó anyagok tulajdonságait és a technológiai műveletek jellegét – elengedhetlenné válik az egyes berendezésekhez kapcsolódó kockázatok rendszerszintű értékelése. Ennek célja, hogy azonosítani lehessen azokat a berendezéseket vagy berendezésegységeket, amelyek üzemeltetése olyan mértékű veszélyt jelent, hogy az emberi jelenlét az üzemeltetési zónájukban nem megengedett.

Az ilyen magas kockázatú technológiai elemek esetében különös figyelmet kell fordítani azok fizikai elkülönítésére, a megfelelő védelmi megoldások kialakítására, valamint a kezelési folyamatok távvezérléses biztosítására. E biztonságtechnikai intézkedések célja, hogy mind a személyi biztonság, mind a berendezések üzembiztossága garantálható legyen a teljes működési ciklus alatt.

Az egyes eljárásokkal és technológiai berendezésekkel kapcsolatos biztonsági követelmények adott esetben állhatnak a gyártás leanelveivel és hatékonyságával szemben, de a megfelelő egyensúly kidolgozása biztonsági és gazdaságossági szempontból elengedhetetlen.

A technológiai berendezések telepítésekor azoknak minden vonatkozó hazai előírásnak maradéktalanul meg kell felelniük. Többek között figyelembe kell venni az alábbi szabályozásokat, és a hozzájuk kapcsolódó harmonizált szabványokat:

- 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról;
- Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2023/1230 rendelete (2023. június 14.) a gépekről, és a 2006/42/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv, valamint a 73/361/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről;
- Az Európai Parlament és a Tanács 2014/35/EU irányelve (2014. február 26.) a meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett elektromos berendezések forgalmazására vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról (átdolgozás);
- 23/2016. (VII. 7.) NGM rendelet a meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett villamosági termékek forgalmazásáról, biztonsági követelményeiről és az azoknak való megfelelésértékeléséről;
- Az Európai Parlament és a Tanács 2014/30/EU irányelve (2014. február 26.) az elektromágneses összeférhetőségre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizálásáról (átdolgozás);
- 8/2016. (XII. 6.) NMHH rendelet Az elektromágneses összeférhetőségről;
- 2014/34/EU irányelv a robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról (átdolgozás);
- 35/2016. (IX. 27.) NGM rendelet – A potenciálisan robbanásveszélyes környezetben történő alkalmazásra szánt berendezések és védelmi rendszerek vizsgálatáról és tanúsításáról;
- 18/2008. (XII. 3.) SZMM rendelet Az egyéni védőeszközök követelményeiről és megfeleléségének tanúsításáról;
- MSZ EN ISO 12100:2011 – Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés;
- MSZ EN 60204 Szabványcsalád;
- MSZ EN 60204-1:2019 Gépek biztonsága. Gépek villamos szerkezetei. 1. rész: Általános követelmények (IEC 60204-1:2016, módosítva);
- ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery – Risk assessment.

A jogszabályi követelmények betartása nemcsak a létesítési és üzembe helyezési engedélyezés szempontjából alapvető, hanem a biztonságos és zavartalan működés egyik garanciája is.

Tekintettel arra, hogy a telepítendő, illetve áttelepítendő gépek és berendezések lehetnek akár használtak, régi gyártásúak is, előfordulhat, hogy a műszaki paramétereik már nem felelnek meg a hatályos szabályozási környezetnek. Ezért minden egyes, telepítésre kerülő berendezést egyedileg szükséges felülvizsgálni abból a szempontból is, hogy teljesíti-e a vonatkozó biztonsági és műszaki előírásokat. Amennyiben eltérés mutatkozik az analízis során, részletes értékelést kell készíteni, és annak megfelelően a berendezést módosítani kell, hogy kielégítse az igényeket. A változások követésével össze kell állítani a berendezést kísérő dokumentációit, beleértve a megfeleléségi nyilatkozatokat is.

A megfelelőségi vizsgálatok során kiemelt figyelmet kell fordítani többek között az alábbi irányadó szabályozásokban foglalt követelményekre:

- ÁRBSZ (27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási biztonsági Szabályzat) – robbanóanyagokkal kapcsolatos, robbanóanyagok környezetében alkalmazott berendezések követelményeit szabályozza;
- Géprendelet (EU 2023/1230) – a CE-megfelelőség alapjául szolgáló követelményrendszert határozza meg a gépek és berendezések vonatkozásában;
- Elektromos berendezések biztonságára vonatkozó irányelv (2014/35/EU) – az alacsony feszültségű berendezések biztonságos üzemeltetésének feltételeit tartalmazza;
- EMC-irányelv (2014/30/EU) – az elektromágneses összeférhetőség szabályozására vonatkozó előírásokat tartalmazza;
- ATEX irányelv (2014/34/EU) – a robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó előírásokat tartalmazza.

E szabályozások együttes alkalmazása biztosítja, hogy a telepített vagy áthelyezett technológiai eszközpark megfelel a korszerű műszaki és biztonsági elvárásoknak, hozzájárulva ezzel az új létesítmény üzembiztonságának és jogszabályi megfelelésének garantálásához.

A technológiai folyamatok rendszerezett feltérképezése

Egy új gyártóüzem technológiai kialakításának alapfeltétele a gyártási folyamatok részletes, rendszerszintű feltárása. Ez a munka az alkalmazott alapanyagok és technológiai berendezések vizsgálatán túl kiterjed az egyes gyártási lépések és műveleti kapcsolatok teljes körű feltárására és dokumentálására is, amely elengedhetetlen a jövőbeni működés szakszerű és biztonságos megvalósításához.

Folyamatábrák és gyártási logikák vizualizálása

A technológiai rendszerek működésének megértéséhez célszerű grafikus megjelenítési eszközöket – elsősorban folyamatábrákat – alkalmazni, amelyek képesek szemléltetni az egyes lépések egymásra épülését, logikai kapcsolatát, valamint a folyamatok kapacitásigényeit és anyagáramait. E vizuális eszközök segítik a gyártási logika átlátását, a tervezési döntések megalapozását, továbbá támogatják a kockázatok és fejlesztési lehetőségek azonosítását.³⁸

Gyártóterületekhez kapcsolódó technológiai leírások

Az új üzem gyártástechnológiai alapidokumentációjának sarokkövét a termékspecifikus gyártási folyamatok részletes leírása képezi. E dokumentáció célja, hogy pontos, visszakereshető,

³⁸ ATLISSIAN [é. n.]; DOVETAIL [é. n.].

és a technológiai tervezéshez közvetlenül felhasználható információkat biztosítson az egyes termékek előállításának lépéseiről, helyszíneiről és feltételeiről.

A technológiai folyamatleírásoknak az alábbi tartalmi elemeket szükséges magukban foglalniuk:

- a technológiai terek alaprajzi elrendezése, a berendezések egyértelmű megjelölésével;
- termékenként strukturált gyártásfolyamat-leírás;
- a gyártás során felhasznált anyagok listája;
- műszaki rajzok, gyártási darabjegyzékek (BOM-ok);
- alapanyag-szükséglet és előkészített gyártási egységek (*batchek*) mennyiségi meghatározása, az adott térben megengedett maximális anyagmennyiségek;
- kapacitásértékek, ciklusidők és fajlagos gyártási idők termékenként;
- folyamatábrák bemenő és kimenő információkkal, anyagmozgásokkal, felelősségi pontokkal;
- technológiai folyamatok részletes műveleti leírása;
- műszakindítás előtti előkészítési lépések dokumentálása;
- műszakzárás utáni karbantartási, tisztítási, ápolási tevékenységek;
- használt technológiai paraméterek és beállítások rendszerezése;
- fotódokumentáció a folyamatok és berendezések vizuális rögzítésére;
- munkaállomások és a hozzájuk tartozó személyi erőforrásigény (létszám);
- selejt- és hulladékkezelési módszerek és eljárások;
- használatban lévő eszközök és berendezések részletes listája;
- legyártott termékek katalogizálása;
- alkalmazott belső dokumentációk, munkautasítások, jegyzőkönyvek;
- felhasználói megjegyzések, működési és hatékonysági észrevételek;
- fejlesztési irányok és potenciális technológiai optimalizálási lehetőségek.

A technológiai folyamatok megtervezése

A technológiai felmérés eredményeként meghatározhatók az egyes termelési egységek és azok szerepe a gyártási folyamatban. A gyártás különböző szakaszait érdemes a feldolgozott anyagok alapján szétválasztani, figyelembe véve az inert (robbanóanyag-mentes) és a robbanóanyagokkal kapcsolatos műveletek közötti különbségeket. A robbanóanyagok jelenléte hat a gyártás szervezésére és a folyamatok biztonsági aspektusaira, valamint a gyártóhely kialakítására.

Míg az inert anyagokkal történő gyártás esetében a folyamatok optimalizálásában a termelékenység kerülhet előtérbe, addig robbanóanyagok feldolgozása során a termelési hatékonyság nem állhat a prioritások élén a biztonsági szempontok előtt. Itt ugyanis az egészségvédelem és a munkavállalók biztonsága az elsődleges szempontok. A robbanóanyagok mennyisége, az azokkal kapcsolatos munkavégzés kockázatai és a legnagyobb fókú stabilitásra és biztonságra vonatkozó követelmények mind befolyásolják a termelékenységet és a gyártás hatékonyságát.

A robbanóanyagok tárolása és logisztikai szempontok

A gyártási technológia sikeres működtetése érdekében elengedhetetlen a kapcsolódó logisztikai folyamatok hatékony tervezése. A logisztikai folyamatok nemcsak a technológia kivitelezését, hanem annak biztonságos működtetését is befolyásolják. A logisztikai tervezésben is az alapvető elv az ALARP (*as low as reasonably practicable*) alkalmazása, amely a robbanóanyagok potenciális káros hatásaival szemben az emberek és a vagyontárgyak lehető legnagyobb mértékű védelmére irányul a biztonságos és hatékony műveletekkel összhangban lévő expozíció minimalizálásával. Azaz a lehető legkisebb számú embernek a lehető legkisebb ideig a lehető legkisebb mennyiségű robbanóanyagnak való kitétele úgy, hogy az a termelési folyamatot ne gátolja.³⁹

A gyártási helyiségek biztonságának fenntartása érdekében a logisztikai stratégia egyik fontos eleme, hogy a robbanóanyagok tárolása és szállítása közvetlenül és biztonságosan, ugyanakkor a gyártási területtől elkülönítve történjen. Ez megvalósítható köztes tárolóhelyiségek alkalmazásával, amelyek biztosítják a folyamatos termelést és optimális kapacitáskihasználást, ugyanakkor teljes mértékben elválasztva maradnak a gyártóhelyiségektől mind építészeti, mind biztonsági szempontból.

A logisztikai koncepció kialakításának részeként meg kell határozni a napi anyagmennyiségeket, beleértve a robbanóanyagok szállítását a feldolgozó helyiségekbe, valamint a félkész és késztermékek áthelyezését a megfelelő raktárakba, mint például az energetikai tárolóhelyiségekbe.

Technológiai környezet tervezése és építészeti tervezés

A robbanóanyag-feldolgozó létesítmények építészeti tervezését megelőző technológiai előkészítés fázisának alapvető elveit és folyamatait szem előtt tartva alakítható ki az a technológiai környezet, amely kiszolgálja a technológiai és logisztikai folyamatokat,⁴⁰ illetve biztosítja, hogy az építészeti tervek szoros összhangban legyenek a robbanóanyagok feldolgozásával kapcsolatos követelményekkel és előírásokkal. Az előkészítési folyamat eredményeként meghatározzák a gyártási berendezések, technológiák, folyamatok és a feldolgozott robbanóanyagok típusait, amelyek alapján kijelölhetők a létesítményen belüli épületek, illetve azok alaprajzai, helyiségeinek funkciói, követelményei. Ezen alaprajzok és követelmények figyelembevételével a különböző építészeti szakágak szaktervezői képesek már biztonságos és gazdaságos, a robbantástechnikai szempontból is megfelelő terveket létrehozni, amelyek nemcsak a jogszabályi előírásoknak felelnek meg, hanem figyelembe veszik a potenciális kockázatokat is, biztosítva a megfelelő védelmi intézkedéseket és a hosszú távú üzemeltetési biztonságot.⁴¹ (A témáról bővebben a cikksorozat következő részében, a *Robbanóanyag-feldolgozó üzem technológiai környezetének tervezése* című publikációban olvashat.)

³⁹ DoD – DESR 6055.09 2020; AASTP-5 2020; IATG 2021.

⁴⁰ AASTP-5 2020; IATG 2021; DSA 03.OME Part 2.

⁴¹ ZALOSH 2003.

Összegzés

Az új robbanóanyag-feldolgozó üzem megvalósítása stratégiai jelentőségű beruházás, amely lehetőséget biztosít a legmodernebb technológiai, biztonsági és nemzetközi szabványoknak megfelelő infrastruktúra létrehozására. Ennek alátámasztására bemutattuk az üzem technológiai előkészítésének teljes folyamatát, kiemelve a tervezés multidiszciplináris jellegét és a jogszabályi, műszaki, biztonsági, gazdasági, valamint logisztikai szempontok integrált kezelésének szükségességét. E technológiai előkészítési folyamat az építészeti és infrastrukturális tervezés megalapozásának elengedhetetlen része. Fontos hangsúlyozni, hogy a létesítmény „nulláról” történő tervezése lehetőséget ad a legmodernebb nemzetközi és hazai előírások, valamint bevált műszaki megoldások alkalmazására.

Tanulmányunkban részletesen tárgyaltuk a jogi és szabványi környezet (magyar és nemzetközi) szerepét a technológiai és építészeti követelmények meghatározásában. Felhívtuk a figyelmet a tervezési alapkövetelmények pontos definiálásának fontosságára (kapacitás, biztonság, költség-haszon elemzés, bővítési lehetőségek, telephely-elrendezés), illetve a gyártási technológia részletes feltérképezésére (alapanyagok, berendezések, folyamatlépések és kockázatelemzés). Ismertettük a berendezések telepítésének és megfelelőségének biztosítását a releváns irányelvek és szabványok alapján (például ÁRBSZ, Gépdirektíva, ATEX), valamint a folyamatábrák és vizuális eszközök szerepét a gyártási logika és a kockázatok feltérképezésében. A biztonság maximalizálása érdekében bemutattuk a robbanóanyagokra vonatkozó elvek (ALARP) alkalmazását, illetve a technológiai környezet és építészeti tervezés integrált kialakítását a robbantástechnikai követelményekkel összhangban. A bemutatott megközelítések – a részletes kockázatértékelési módszertanok, az Ipar 4.0 alapú digitalizációs megoldások, a fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontok, a humánbiztonsági protokollok, valamint a nemzetközi *best practice* példák – együttesen hozzájárulnak ahhoz, hogy a létrejövő üzem megfeleljen a legszigorúbb biztonsági és minőségi követelményeknek.

A téma feldolgozása során az alábbi következtetéseket rögzítettük:

- A sikeres üzemtervezés alapja a technológiai előkészítés: A megfelelően dokumentált, részletesen kidolgozott technológiai követelményrendszer nélkül az építészeti és műszaki tervezés nem biztosíthatja sem a jogszabályi megfelelést, sem a biztonságos működést.
- A nemzetközi szabványok bevonása kulcsfontosságú: A korszerű robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésekor elengedhetetlen a NATO-, EU- és egyéb nemzetközi irányelvek figyelembevétele, mivel ezek gyakran naprakészebb biztonsági és technológiai elvárásokat rögzítenek, mint a hazai szabályozás.
- A biztonság maximalizálása a termelékenységgel szemben: A robbanóanyagok feldolgozásánál megfelelő védőintézkedésekkel a munkavállalók egészségének és a telephely védelmének legnagyobb fokú biztosítása szükséges a gyártási hatékonyság megtartása mellett.
- Integrált logisztikai és gyártástechnológiai tervezés: Az anyagáramlás, -tárolás és -szállítás biztonsági és kapacitási követelményei szoros összefüggésben állnak a technológiai és építészeti kialakítással.

- Folyamatos visszacsatolás és iteráció szükséges: Az építészeti és technológiai tervezés párhuzamos, egymást folyamatosan korrigáló folyamata biztosítja a multidiszciplináris megfelelést és az optimális végeredményt.
- Részletes berendezés-nyilvántartás és megfelelőségi vizsgálat: A használt vagy új gépek esetében egyaránt nélkülözhetetlen a részletes műszaki adatgyűjtés, kockázatelemzés és a szabályozási követelményeknek való megfelelés dokumentált igazolása.

A beruházás sikeres megvalósítása csak széles körű szakmai együttműködéssel, részletes előkészítéssel és folyamatos minőségbiztosítással érhető el. A korszerű robbanóanyag-feldolgozó létesítmény tervezésének és kivitelezésének központi célja, hogy a biztonság, a hatékonyság és a fenntarthatóság egységes rendszert alkosson. Ez biztosítja, hogy az üzem hosszú távon is megbízhatóan, környezetkímélően és a munkavállalók egészségét védve működhessen.

Felhasznált irodalom

- 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról.
- Atlassian [é. n.]: *What is a Flowchart? Symbols, Benefits, & How to Make One*. Online: www.atlassian.com/work-management/project-management/flowchart
- Basel Convention Secretariat (2019): *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal*. United Nations Environment Programme.
- van den BOSCH, C. J. H. – WETERINGS, R. A. P. M. szerk. (2005): *Methods for the Calculation of Physical Effects due to Releases of Hazardous Materials – Yellow Book* (CPR 14E). The Hague: Committee for the Prevention of Disasters by Hazardous Materials. Online: <https://resolver.tno.nl/uuid:4928209c-5998-4261-9393-3d55073e6e87>
- Center for Chemical Process Safety (2010): *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (3rd ed.). Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Center for Chemical Process Safety (2018): *Bow-tie Methodology for Hazard Identification and Control*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- CROWL, Daniel A. – LOUVAR, Joseph F. (2022): *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications* (4th ed.). London: Pearson.
- Defence Safety Authority (2020): *DSA 03. OME Part 2: Defence Code of Practice (DCOP) and Guidance Notes for In-Service and Operational Safety Management of Ordnance, Munitions and Explosives (OME)*. United Kingdom Ministry of Defence. Online: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ee8cbdce90e070425c4c571/DSA_03_OME_PART_2__JSP_482__CH_12__Nov_19__-_mod_gov_uk.pdf
- Department of Defense (DoD) (2020): *DESR 6055.09 – Defense Explosives Safety Regulation*. U.S. Department of Defense.
- Deutsches Institut für Normung (2011): *DIN VDE V 0166: Electrical Installations in Hazardous Areas*. [H. n.]: Beuth.
- Dovetail [é. n.]: *Flowcharts: Definition, Benefits, and Examples*. Online: <https://dovetail.com/product-development/what-is-a-flow-chart>
- MANNAN, Sam szerk. (2012): *Lees' Loss Prevention in the Process Industries* (4th ed.). Oxford: Butterworth–Heinemann. Online: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24104-3>
- MANNAN, Sam szerk. (2013): *Lees' Process Safety Essentials*. Oxford: Butterworth–Heinemann.
- Nammo AS. (2022): *Corporate Sustainability and Safety Practices*. Nammo Annual Report.

- NATO STANAG 4440 (2019): *AASTP-01: NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives*. NATO Standardization Office.
- NATO STANAG (2020): *AASTP-5: NATO Guidelines for the Storage, Maintenance, and Transport of Ammunition on Deployed Missions or Operations*. NATO Standardization Office.
- NATO STANAG 4442 (2024): *Explosives Safety Risk Analysis*. NATO Standardization Office.
- United Nations Economic Commission for Europe (2015): *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria (6th rev. ed.)*. United Nations Publications.
- United Nations Office for Disarmament Affairs (2021): *International Ammunition Technical Guidelines (IATG)*. United Nations.
- U.S. Department of Defense Explosives Safety Board (2018): *DESR 6055.09 – Defense Explosives Safety Regulation*.
- ZALOSH, Robert G. (2003): *Industrial Fire Protection Engineering*. Hoboken, New Jersey: Wiley. Online: <https://doi.org/10.1002/9781118903117>

Szalkai László¹ 

Additív gyártási technológiával előállított idomtöltetek alkalmazhatóságának kérdése a rendvédelmi, speciális feladatokat ellátó egységeknél

The Applicability of Additively Manufactured Charges in Law Enforcement and Special Task Units

Az additív gyártási (3D-nyomatás) technológia alkalmazásának lehetőségére egyre több területen figyelnek fel a kutatók. Az elmúlt években jelentős újításokról értesülhettünk az ipari vagy katonai területen elért eredményekről. A technológia felhasználásával rendvédelmi területen új lehetőségek adódnak a kiképzési feladatok végrehajtása vagy akár a műveleti egységek feladatvégrehajtása során. Ezzel a technológiával gyors, költséghatékony, kreatív, egyedi elemek gyárthatók, amelyek alkalmazhatóságát a kutatómunkám során dokumentálni fogom. A rendvédelmi feladatokat támogató speciális idomtöltetek prototípusait – a műveleti feladatok sajátosságainak figyelembevételével – megtervezem, előállítom, majd a kutatásom későbbi szakaszában tesztelni is fogom. Az additív technológia előnyeit kihasználva – ha szükséges, korrekciók alkalmazásával – új tervezési irányok valósíthatók meg a kívánt cél elérése érdekében. Célom, hogy a rendvédelmi szektor számára az eddigieknél jobb eszközök alkalmazására tegyek javaslatot.

Kulcsszavak: 3D-technológia, idomtöltetek, rendvédelem, kutatás

Researchers are increasingly focusing on the potential applications of additive manufacturing (3D printing) technology in a wide range of fields. In recent years, we have heard about significant innovations in industrial and military applications. Its use in law enforcement opens up new possibilities for training exercises and even for operational units. This technology allows for

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: szalkai.laszlo81@gmail.com

the rapid, cost-effective, creative production of unique items, the applicability of which I will document in my research. I will design and produce prototypes of special charges to support law enforcement tasks, taking into account the specificities of operational tasks, and will test them in a later stage of my research. Taking advantage of the benefits of additive technology, new design directions can be implemented with corrections if necessary to achieve the desired goal. My goal is to propose better tools for the law enforcement sector than those currently available.

Keywords: 3D technology, charges, law enforcement, research

A 3D-nyomtatás fogalma és jelentősége

A 3D-nyomtatás vagy additív gyártás olyan folyamat, amely során anyag hozzáadásával – vékony rétegek egymásra helyezésével készít 3 dimenzióban érzékelhető tárgyakat, szemben a hagyományos megmunkálással – CNC (*computer numerical control*) munkafolyamat –, amelynek során nagyobb nyers darabból választják le a felesleges anyagot, és a megmaradó rész lesz a kész termék. Nagyszerűsége abban rejlik, hogy az így előállított termékek új dimenziókat nyitnak meg az anyagmegmunkálás területén, úgynevezett bennszülött alkatrészek készíthetők. Ezek az elemek hagyományos esztergálási technikákkal jelenleg nem állíthatók elő.

„A bennszülött alkatrész olyan alkatrész, amely csak tervrajzon megvalósítható, mert átgondolatlan tervezése vagy a hibás műszaki rajz miatt lehetetlen legyártani, szétszedni vagy használni. Az alkatrész fizikai mérete miatt a valóságban nem beszerelhető, az azt körülvevő alkatrészen nincs megfelelő méretű nyílás.”²

Ezzel a technológiával mind a katonai, mind pedig a rendvédelmi területen új lehetőségek nyílnak meg, amelyeket a hozzám hasonló kutatók igyekeznek felfedni.

Maga a technológia számos területen jelenik meg és olyan lehetőségeket is megteremt, mint például a biztonsági kéziszerszámok gyárthatósága, ahol a szikramentesség kritikus követelmény. Speciális környezetekben – mint például egyes rendvédelmi operatív helyzetekben – a műszaki és anyagbiztonsági kritériumok különösen magasak, így a megfelelő módon legyártott, megbízható eszközök, alkatrészek akár életeket is menthetnek, és szavatolják az alkalmazók biztonságát.³

Kutatómunkám során olyan magas biztonsági fokozatú ajtók nyitására alkalmas terméket tervezek 3D-nyomtatási technológiával előállítani, amely elsősorban a speciális rendvédelmi feladatokat ellátó egységek kiképzéséhez és tevékenységéhez nyújtana segítséget. E törekvés célja, hogy a kiképzés, illetve műveleti tevékenység során alkalmazott összeállítási idő csökkenjen, mindemellett a biztonság ne sérüljön. Továbbá az is fontos számomra, hogy a termék egyszerűsége egyben nagyszerűsége is legyen. Ez alatt a hibalehetőségek

² VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2023a: 56; ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023b: 52–53; ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023c: 57–59.

³ EMBER et al. 2024: 56–61.

kiszűrését értem, hiszen a fokozott stresszhelyzet, izgalmi állapot legtöbbször csökkenti a hatékonyságot. Az ilyen területen feladatokat ellátó személyek számára ez nem megengedhető, mert minden hiba, rossz mozdulat emberélelet követelhet. A harmadik fő szempont, hogy az összeszerelési folyamat ne igényeljen semmilyen eszközt, amelynek esetleges hiánya a műveletet szabotálná. Ez többek között a szerelési időt is csökkenti. A jelenleg a szakmában alkalmazott magas biztonsági fokozatú ajtókra kifejlesztett támasztó- és rögzítőelemeket igyekszem elhagyni, mert azok jelentős biztonsági kockázattal járnak a közvetlen környezetre.

A 3D-nyomatási módszerek csoportosítása

A 3D-nyomatási módszerek többféleképpen osztályozhatók, a kutatás relevanciája alapján a következő csoportokat különböztethetjük meg:

1. a felhasználási terület alapján,
2. a nyomtatás módszere, folyamata alapján,
3. az alapanyag típusa alapján.

A nemzetközi katonai és rendvédelmi gyakorlatban a 3D-nyomatás egyre nagyobb figyelmet kap. Az Észak-atlanti Szerződés Szervezete (NATO) több tanulmányában kiemelte, hogy a decentralizált, helyszíni additív gyártás stratégiai előnyt jelenthet válságövezetekben és béketámogató műveletekben. Az Amerikai Egyesült Államok hadserege például tábori körülmények között már sikeresen alkalmazta a technológiát pótalkatrészek és fegyverkiegészítők előállítására, míg Izraelben a rendvédelmi egységeknél speciális, kiképzési célokat szolgáló eszközöket állítottak elő. Oroszország és Kína szintén intenzíven kutatja a katonai felhasználási lehetőségeket, különösen a drónok, robotikai rendszerek és speciális lőszer területén. Ezek az irányok azt mutatják, hogy a technológia stratégiai szinten is komoly hatással lehet a védelmi képességek fejlesztésére.

A felhasználási terület alapján történő csoportosítás

Az additív gyártási technológia számos területen alkalmazható. Folyamatosan bővülő felhasználási köre újabb és újabb területekre gyakorol hatást. Ezek közül néhány:

- orvostudomány: egyedi protézisek, implantátumok, fogászati termékek, orvosi eszközök költséghatékony előállítása;
- autópár: alkatrészek, szerszámok, prototípusok készítése;
- repülőgépipar: speciális alkatrészek gyártása;
- építészet: egyedi 3D-nyomatási eljárással készített házak gyártása;
- divat- és ékszeripar: egyedi ruházati cikkek, ékszerek tervezése és gyártása.

Az additív gyártási technológia a védelmi szektorban is egyre nagyobb szerepet kap.

Rendvédelmi felhasználása: egyedi felszerelések, fegyverek és kiegészítők, valamint a képzési eszközök előállításának területén történtek jelentősebb előrelépések. Katonai

felhasználása: többek között alkatrészek és javítások, drónok és robotok, építési és az infrastruktúra területeit érintő fejlesztések zajlanak. A 3D-nyomatási képesség kialakítása a Magyar Honvédség (MH) műszaki egységei számára is stratégiai fontosságú lehet. Van olyan tanulmány, amely SWOT- (*strengths, weaknesses, opportunities, threats*) analízisen keresztül mutatja be a technológia ellátásbiztonsági előnyeit és katonai-logisztikai alkalmazhatóságát.⁴ Ez azért is fontos, mert párhuzam fedezhető fel a rendvédelmi idomtöltetek prototípusai és a katonai műszaki felhasználásuk között, hiszen hasonló ellátási és operatív követelményeket szolgálhatnak ki. A 3D-nyomatás jelentősen csökkentheti a szállítási és raktározási kockázatot a logisztikai láncban. A rendvédelmi prototípusok helyszíni legyártásának lehetősége erősítheti a műveleti egységek reagálóképességét és önállóságát.⁵

Meggyőződésem, hogy az additív gyártási technológia további kutatása számottevően növelheti a védelmi szektor hatékonyságát és rugalmasságát.

A nyomtatás módszere alapján történő csoportosítás

A 3D-technológiában leggyakrabban alkalmazott nyomtatási módszerek nem mindegyike alkalmas a kutatómunkám elvégzésére, ezeket a szélesebb körű kitekintés okán említem meg:

1. Az FDM/FFF (*fused deposition modelling/fused filament fabrication*) olyan 3D-nyomatási technológia, amely során a nyomtató extruderén (nyomtatófej) keresztülvezetett, hőre lágyuló filamentek a nyomtatási tálcán rétegekben, összeolvadva rakódnak le. Az egyik leggyakoribb nyomtatási eljárás a polgári felhasználásban.
2. Az SLA- (*stereolithography*) technológia során fényre szilárduló, folyékony fotopolimer műgyanta alapanyagokat használnak, amelyeket egy lézer segítségével rögzítenek egymáshoz. Ez az eljárás lehetőséget biztosít az apró részletek megjelenítésére.
3. Az SLM- (*selective laser melting*) technológia során fúziós elven fémporok összeolvasztását végzik lézer segítségével. Ez az eljárás nagy reményeket ébreszt a hadikutatás területén.
4. Az SLS (*selective laser sintering*) alkalmazása során a por állagú alapanyag rétegeit a szelektív lézeres szinterezés technológiájával kötik össze. Az alapanyag teljesen kitölti a munkateret, ezért nincs szükség támaszokra sem.
5. A PolyJet-nyomatás során folyékony fotopolimer cseppeket kötnek össze egy UV-fényforrás segítségével. Előnye, hogy nagy méretű, részletes prototípus-alkatrészek is gyárthatók kiváló felületi minőséggel, a színkeverés lehetősége mellett.
6. A *binder jetting*-eljárásban por alapanyagra rétegenként kötőanyagot permeteznek, így alakul ki a megtervezett termék. Több szín és alapanyag használata lehetséges egy nyomtatás során.
7. A DLP- (*digital light processing*) nyomtatók fotopolimer alapanyagot használnak fel a tárgyak felépítésére. Ezáltal az eljárás nagy felbontású, egyedi modellek, alkatrészek gyártására alkalmas (például a fogtechnikában vagy az ékszeriparban).

⁴ DARUKA et al. 2024b: 31–36.

⁵ DARUKA et al. 2024c: 250–252.

8. Az EBM (*electron beam melting*) 3D-nyomatók fémpor alapanyagot olvasztanak fel egy elektronnaláb segítségével, így építik fel a tárgyat rétegről rétegre. Ez a technológia elsősorban fém alkatrészek gyártására használható.
9. A DMLS- (*direct metal laser sintering*) technológia az SLS-módszer szerint működik, azonban fém alapanyagokat használ fel a termék elkészítéséhez.
10. A CJP- (*color jet printing*) eljárással többszínű eszközök gyártása lehetséges. Felhasználása az ember fantáziáján múlik.

A fentebb felsorolt nyomtatási technológiákon kívül számos lehetőség nyílik ezen a területen, amely különféle iparágak igényeit elégítheti ki, emellett új kutatási irányokkal is szolgálhat. Általuk a tudomány robbanásszerű fejlődésére számíthatunk.

A honvédelmi és rendvédelmi szektorban is felismerték a 3D-nyomatásban rejlő lehetőségeket. A MH 2021-ben kiadott *Nemzeti Katonai Stratégiája*⁶ külön hangsúlyozza a modern technológiák adaptációját a hadművelleti és logisztikai képességek növelése érdekében. Az additív gyártás ehhez közvetlenül hozzájárulhat azzal, hogy gyorsan, költséghatékonyan és rugalmasan képes pótolni vagy kiegészíteni a speciális felszereléseket. Hazai kutatóhelyek és ipari partnerek – egyetemek, technológiai központok – már elindítottak olyan projekteket, amelyek szorosan kapcsolódnak a védelmi szektorhoz. Ez a kutatás így jól illeszkedik a MH modernizációs törekvéseihez.

Meg kell jegyezni, hogy a 3D-nyomatási technológia oktatása integrálható a katonai műszaki képzésbe. Ez nemcsak az elméleti alapokat biztosítja, hanem a gyakorlati, operatív környezetben történő alkalmazhatóságot is elősegíti, egyben alátámasztja a speciális idomtöltetek fejlesztésének oktatási és szervezeti legitimitását.⁷

1. táblázat: Összehasonlító táblázat – 3D-nyomatási technológiák előnyei és hátrányai

| Technológia | Előnyök | Hátrányok | Lehetséges rendvédelmi alkalmazás |
|-------------|--|---|-----------------------------------|
| FDM/FFF | Olcsó, könnyen hozzáférhető, széles anyagválaszték | Gyengébb mechanikai tulajdonságok, hőmérséklet-érzékeny | Prototípusok, kiképzési eszközök |
| SLA | Nagy pontosság, részletgazdag modellek | Drága alapanyag, gyenge UV-állóság | Kisebb precíziós alkatrészek |
| SLM/DMLS | Nagy szilárdságú fém alkatrészek | Magas költség, ipari környezet szükséges | Fegyver- és járműalkatrészek |
| SLS | Nincs szükség tartószerkezetre, erős végermék | Drágább és bonyolultabb berendezés | Komplex kiképzési eszközök |
| PolyJet | Kiváló felületminőség, színkeverés lehetősége | Anyagok tartóssága korlátozott | Realisztikus kiképzési makettek |

⁶ 1393/2021. (VI. 24.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról.

⁷ DARUKA et al. 2024a: 7–11.

| Technológia | Előnyök | Hátrányok | Lehetséges rendvédelmi alkalmazás |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Binder jetting | Többféle alapanyag, színes modellek | Mechanikailag gyengébb darabok | Gyakorlati modellek |
| EBM | Erős fém alkatrészek | Drága, ipari környezet kell | Repülőgépipari, katonai komponensek |
| CJP | Sokszínű modellek | Gyenge szilárdság | Oktatási szemléltetőeszközök |

Forrás: a szerző szerkesztése

Az additív eljárásokkal gyártott kumulatív idomtöltetek tesztrobantásait figyelembe véve megállapítható, hogy csak nagyon kevés kutató vizsgálja ezt a területet. A fellelhető kutatások, vizsgálatok és teszteredmények mechanikai és operatív hatékonyság szempontjából relevánsak lehetnek az ajtórobantó kazetta (ARK) tervezéséhez. Kumulatív töltetekkel végrehajtott elemzések eredményei⁸ jól illeszthetők az általam kitűzött célokhoz, különösen a szerkezeti integritás és a robbanásmechanika elemzésében.

Az alapanyag típusa alapján történő csoportosítás

A 3D-nyomtatáshoz felhasználható alapanyagok is igen sokrétűek, ezek egy-egy sajátos tulajdonságuk alapján bizonyulnak a legmegfelelőbbnek az adott célú felhasználásra. Ezek a tulajdonságok szavatolják a célterületen a tökéletes helytállásukat. A speciális rendvédelmi területen történő alkalmazáshoz az anyagoknak különféle kritériumoknak kell megfelelniük. Ezek többek között a szilárdság, az UV-állóság, a vegyi anyagokra való érzéketlenség, a méretpontosság és a tartósság. A nyomtatás során a 3D-nyomtatónak, a használt filamenteknek és a nyomtatni kívánt tárgynak összhangban kell lenniük. Gyakran megtörténik, hogy egy jelentéktelennek tűnő paraméter hiánya miatt hiúsul meg a céltárgy elkészítése.

Az úgynevezett filamentek az elkészült tárgyak minősége mellett befolyásolják a nyomtatási folyamatot is. Ahhoz, hogy a céltárgy előállítása sikeres legyen, szükséges ismerni a filamentek tulajdonságait, hogy melyik igazodik a kívánt cél eléréséhez, azaz, melyik anyag biztosítja a végtermékkel szemben elvárt fizikai tulajdonságokat.

A 3D-nyomtatási technológia alkalmazása ugyanakkor számos kihívással is jár. A nyomtatott alkatrészek szilárdsága és tartóssága gyakran eltér a hagyományos gyártási eljárásokkal készülő elemekétől. A nyomtatási hibák, a rétegek közötti tapadás hiányosságai vagy a nem megfelelő hőmérséklet-szabályozás mechanikai gyengeségeket eredményezhetnek. A környezeti hatások – például magas hőmérséklet, nedvesség vagy UV-sugárzás – szintén befolyásolhatják a végtermék élettartamát. Ezeknek a tényezőknek a figyelembevétele elengedhetetlen, különösen akkor, ha a technológiát rendvédelmi vagy katonai környezetben alkalmazzák.

Az általam kifejtett téma szempontjából releváns alapanyagok a következők:

⁸ EMBER 2024: 18–21.

- ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*): az egyik legelterjedtebb, megfelelő szilárdságú, kopásálló műanyag, amelyet főként alkatrészek nyomtatására alkalmaznak;
- PLA (*polylactic acid*): alacsony hőmérsékleten is jól nyomtatható, merev és erős műanyag, amely kevésbé hajlamos a torzulásra; jó UV-állósággal rendelkezik;
- PETG (*polyethylene terephthalate glyco*): tartós, megfelelő szilárdságú műanyag, amely egyaránt ellenáll különböző vegyszereknek és az UV-sugárzásnak.

Ezek az anyagokon kívül – felsorolás szintjén – megemlítem azokat a termékeket, amelyek a 3D-nyomtatás során alkalmasak lehetnek tárgyak nyomtatására. Ezek az anyagok a nylon, az ASA (*acrylonitrile styrene acrylate*), a DIRAN, a TPU (*thermoplastic polyurethane*), a PC (polikarbonát) és a HIPS (*high-impact polystyrene*).

Ezekon kívül a fémek és a kompozitok – bronzötövetek és egyéb fémek, fémporok és műanyagok keverékei – használhatók a megfelelő technika kiválasztásával 3D-nyomtatási feladatokra, azonban ezekkel a kutatásom során egyéb biztonsági okokból nem foglalkozom.

Kutatómunkám során az FDM/FFF szálhúzásos nyomtatási módszert alkalmazom elsődlegesen, olyan filamentekkel, amelyek megfelelnek a rendvédelmi alkalmazásban és területen támasztott elvárásoknak. Az első megfelelő alapanyag az ABS, amely erős kopásállósággal rendelkezik, és gyakran használják alkatrészek nyomtatására. Noha kényes a nyomtatási terület állandó hőmérsékletére, a nyomtatás minősége kompenzálja a nyomtatási folyamat egyéb hátrányait.

A másik, számomra alkalmasnak tűnő anyag a PETG, amely erős, hőálló, kopásállósága és jó mechanikai tulajdonságai miatt az anyag alkalmassá válhat arra, hogy a kutatómunkámban használjam. További előnye, hogy a nedvességgel és a különböző vegyszerekkel szembeni ellenálló képessége nagy.

Az általam használt filamentekkel szemben támasztott elvárások a következők:

- a nyomtatott termék alapanyaga ne lépjen kémiai reakcióba a kétkomponensű robbanóanyaggal;
- a felhasználásából kifolyólag rendelkezzen jó szerkezeti tulajdonságokkal;
- legyen ellenálló a hővel és az UV-sugárzással szemben;
- és végül, de nem utolsósorban a nyomtatás hibaszázaléka elenyésző legyen.

2. táblázat: Anyagtulajdonság-táblázat – ABS, PLA, PETG összehasonlítása

| Anyag | Szilárdság | UV-állóság | Vegyszerállóság | Felhasználhatóság |
|-------|---------------------|------------|-----------------|---|
| ABS | Jó, kopásálló | Gyenge | Korlátozott | Tartós alkatrészek, nagy igénybevételű elemek |
| PLA | Merev, erős | Jó | Gyenge | Oktatási, kiképzési eszközök |
| PETG | Nagyon jó, rugalmas | Jó | Jó | Kültéri és vegyi környezetben használt elemek |

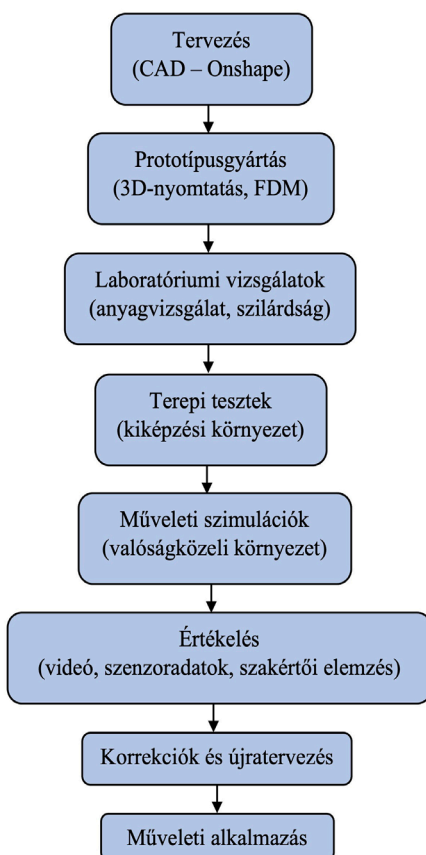
Forrás: a szerző szerkesztése

A kutatási feladat leírása

A kutatás módszertani alapját három szakaszra osztottam:

- laboratóriumi vizsgálatok, amelyek során az elkészített prototípusokat anyagszilárdsági és biztonsági szempontok alapján értékelem;
- terepi tesztek, amelyek során a valós környezetben, kiképzési jellegű helyzetekben próbálom ki az eszközt;
- műveleti szimulációk, ahol a cél a prototípus gyakorlati alkalmazhatóságának és megbízhatóságának vizsgálata.

A prototípus értékelése során az alábbi mutatókra támaszkodom: az összeállítási idő csökkentése, a felhasználói biztonság, a mechanikai stabilitás és a robbantási hatékonyság. Az adatgyűjtést a videófelvételek, az érzékelők és a szakértői értékelés együttesen biztosítják.



1. ábra: Folyamatábra – kutatási és fejlesztési lépések

Forrás: a szerző szerkesztése

Célul tűztem ki egy olyan, 3D-nyomatási technológiával elkészített robbantókazetta megalkotását, amely a rendvédelmi speciális feladatokat ellátó egységeknek, illetve a speciális katonai egységeknek a feladat-végrehajtásában segítséget nyújt, képes a magas fokozatú biztonsági nyilászárók megnyitására robbantással. Célom továbbá, hogy ezek az eszközök kiképzési és műveleti feladatok ellátására egyaránt alkalmasak legyenek.

Ennek szükségességét abban látom, hogy a behatoláshoz kellő robbantási előkészítési folyamat időigényes. Ez főként a robbanótöltet összetett összeállítási folyamatából ered. Meggyőződésem, hogy az általam kifejlesztett – egyelőre – prototípus az összeállításhoz szükséges időt töredékére rövidíti, mindeközben a biztonságos feladatvégrehajtást nem veszélyezteti.

Általánosságban elmondható, hogy a robbanótöltet összeállítása a legtöbb nemzetközi rendvédelmi egységnél a helyszínen történik, ami több szempontból is biztonsági kockázatot jelent a helyszínen tartózkodó állomány számára.

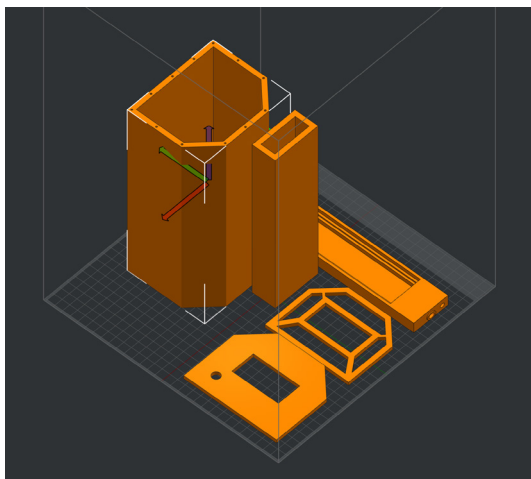
Ezzel a termékkel elhagyhatók olyan másodlagos repeszhatást keltő elemek (cseréplécmerevítés, támaszték), amelyek indokolatlan sérüléseket okozhatnak a környezetünkben. Felfogatása speciális, erre a célra gyártott kétoldalú ragasztószalaggal történik, amennyiben indokolt, további, 3D-nyomatással előállított tapadásnövelő felületek helyezhetők el a testen.

A korábbi végrehajtási módot nem hibaként, hanem az új technikai eszközök innovatívabb alkalmazási lehetőségeként kívántam bemutatni. Fontos kitérni az összeállításhoz szükséges eszközök, felszerelések helyszíni alkalmazására, ezek hiánya a feladatvégrehajtás kimenetelét erősen befolyásolja.

Távolabbi célom, hogy az általam előállított ajtórobbantó kazetta – egy előzetes helyszíni műszaki felmérést követően – az adott ajtóhoz legalkalmasabb technikai megoldások megvalósítását tegye lehetővé. Tehát az ismert ajtó védelmi képességeihez mérten a legalkalmasabb eszköz készülhessen. Az új termék helyszíni összeállításához a személyi védőfelszereléseken kívül más eszköz nem szükséges.

Úgy vélem, hogy már önmagában ez a tény is rövidíti az összeállítási időt. Ezenfelül mérsékli a felmerülő biztonsági kockázatokat mind a robbantómester, mind a környezetében lévők számára.

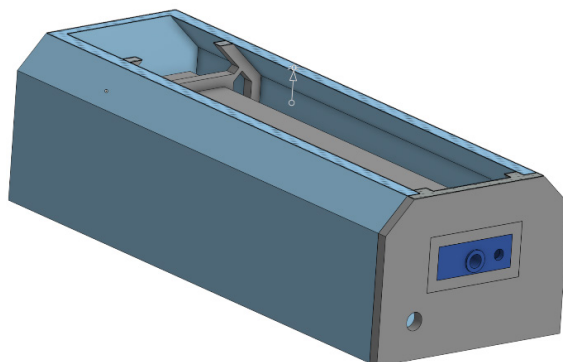
A robbantókazettához alkalmazott robbanóanyag innovatív termék, megalkotója dr. Kugyela Lóránd. Kísérleteim során az általa kifejlesztett, folyékony halmazállapotú tixotróp robbanóanyagot használom. Ez az anyag 1 : 1 arányú összekeverését követően közel szilárd halmazállapotúvá alakul át, ez számomra alkalmassá teszi a felhasználásra. Mivel az összeszerelési idő – a rendszeresített eljáráshoz képest – jelentősen megrövidül, a feladatvégrehajtás is biztonságosabbá válik.



2. ábra: Az ajtórobbantó kazetta 3D-nyomatatási elrendezése

Forrás: a szerző szerkesztése

A robbanóanyagok A és B komponenseit egymástól elkülönítve tárolják. Összekeverésük egy speciális betöltőpisztolyon keresztül történik, amelynek végében egy keverőszár egyesíti az anyagot. Az így kapott keverék rövid idő alatt megdermed és halmazállapotot vált. Ez biztosítja, hogy a betöltőtálcában megfelelően helyezkedjen el.

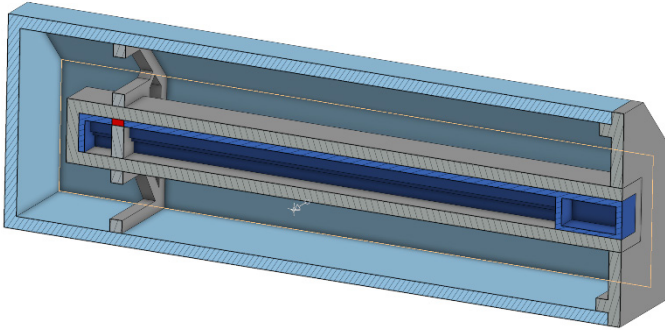


3. ábra: Az ajtórobbantó kazetta felső metszeti képe

Forrás: a szerző szerkesztése

A robbanóanyag-tálca elején egy bemeneti „furat” található, amelybe a NonEl iniciálási rendszer kap helyet. A gyutacs vége a robbanóanyagban minimum 30 mm hosszúságban érintkezik. Ez biztosítja a lökéshullám továbbhaladását és a kísérlet sikerét.

A robbanóanyag detonációsebessége 3000 m/s, így alkalmassá válhat magas biztonsági fokozatú fém bejárati ajtók erőszakos megnyitására. A robbanószerkezet felhelyezése, telepítési módszere alapvetően megegyezik az ilyen típusú ajtónyitások végrehajtási módjával, az erre vonatkozó biztonsági rendszabályok maradéktalan betartása mellett. A végrehajtás során keletkező információkat fénykép- és videófelvétellel dokumentálni fogom. A keletkezett információkat rögzítem, szakértőtársaimmal kiértékelem, és ha szükséges, ezt követően elvégzem a módosításokat.



4. ábra: Az ajtórobbantó kazetta hosszanti metszete

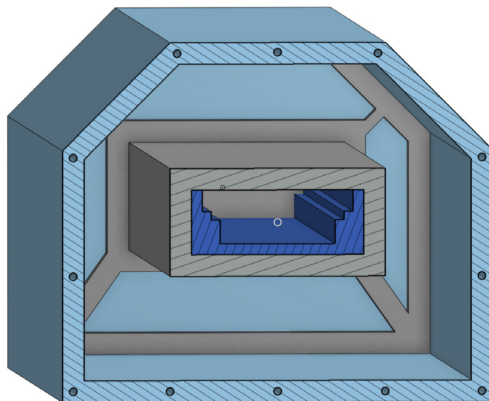
Forrás: a szerző szerkesztése

Az elkészített prototípustest, az ARK formailag és technikailag egyaránt alkalmas lehet az ilyen típusú ajtónyitások végrehajtására. Az eszköz összeállítása több részben történik, alkatrészeit ragasztóanyaggal rögzítem.

Hosszanti irányú megerősítésére a fenti képen látható „furatok” szolgálnak. Azokba ragasztóanyaggal 1,75 mm vastagságú filamenteket kell erősíteni. Az így kapott test már jobban ellenáll a keresztirányú feszítésnek.

Az ajtórobbantó kazetta részei:

- üreges alaptest;
- tálcaüreg-központosító lemez;
- testfedőlap;
- tálcatartó hasáb;
- robbanóanyag-tálca;
- robbanóanyagtálcafedő-lap.



5. ábra: Az ajtórobbantó kazetta keresztmetszeti képe

Forrás: a szerző szerkesztése

A test megtervezéséhez egy online tervezőszoftvert alkalmaztam (Onshape), amellyel a legpróbb részletekig meg lehetett tervezni az elképzelt test szerkezetét. A prototípus alkatrészeit szeletelőprogrammal történő feldolgozás után készítettem el.

A próbarobbantásokat késő tavasszal, nyár elején rendezik meg, és minden bizonnyal jó tapasztalatokat szerezhethünk az ilyen típusú eszközök alkalmazásával kapcsolatban.

Összefoglalás

Az additív gyártás rendvédelmi és katonai alkalmazása etikai és jogi kérdéseket is felvet. A 3D-nyomtatott eszközök tipikus példái a *dual-use* technológiáknak, amelyek civil és katonai célokra egyaránt felhasználhatók. Ez különösen fontos, amikor robbanóanyagokkal vagy fegyveralkatrészekkel összefüggő fejlesztésekről van szó. Az Európai Unióban és Magyarországon szigorú jogszabályok vonatkoznak a robbanóanyagok előállítására, tárolására és felhasználására, valamint a fegyveralkatrészek gyártására. A kutatás során ezért elengedhetetlen a jogi és a biztonsági előírások betartása, valamint annak vizsgálata, hogyan illeszkedik a technológia a szabályozási környezetbe.

A 3D-nyomtatás mára a mindennapok részévé vált, alacsony fenntartási költségei miatt már szinte mindenki számára elérhető, a legmodernebb nyomtatókkal pedig az ipari szereplők jelentősen tudják csökkenteni a fejlesztésre fordított időt és költségeket. A technológia rendvédelmi alkalmazása, felhasználása a folyamatos kísérletezéseknek köszönhetően egyre sokoldalúbbá válik. Célom, hogy az FDM-technológia felhasználása egyre nagyobb szerepet kapjon a speciális rendvédelmi területen. Meglátásom szerint a nyílászáró robbanóanyaggal történő megnyitása ezzel a folyamattal rendkívül költséghatékonyra válhat, így a felkészítő gyakorlások során az állománynak több lehetősége nyílik az új ismeretek magas szintű

elsajátítására. Az általam kutató új eljárás költséghatékonyasága és biztonságos felhasználása mellett az összeszerelési időt is töredékére csökkenti.

Az FDM-nyomatási technológiában rejlő lehetőségek, alapanyagok sokfélesége és könnyű hozzáférhetősége, felhasználása nemcsak a rendvédelmi, hanem a katonai területen is megtörtént. Jelentős kutatások és fejlesztések mentek végbe. A 3D-nyomatási technológiában rejlő, még kiaknázatlan lehetőségek a kutatókat e terület megismerésére ösztönzik, ahogyan azt saját kutatómunkám során is bemutattam.

A jövőben a kutatás több irányba is továbbfejleszhető. A mesterséges intelligenciával támogatott generatív tervezés lehetővé teheti olyan idomtöltetek létrehozását, amelyek optimalizált formájuknál fogva kisebb anyagfelhasználás mellett is nagyobb hatékonyságot biztosítanak. A kompozit és intelligens anyagok – például önjavító polimerek – további biztonsági előnyt jelenthetnek. A digitális iker technológia pedig lehetőséget adhat arra, hogy a tényleges terepi tesztek előtt szimulációs környezetben vizsgáljuk meg a prototípus működését. Ezek az irányok hosszú távon hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a 3D-nyomatás a rendvédelmi és katonai szektorban is nélkülözhetetlen technológiává váljon.

Felhasznált irodalom

- DARUKA Norbert et al. (2024a): A 3D-nyomatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 5–18. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>
- DARUKA Norbert et al. (2024b): A 3D-nyomatási képesség kialakításának lehetőségei és korlátai a Magyar Honvédségben. *Hadtudomány*, 34(E-szám), 27–39. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.27>
- DARUKA Norbert et al. (2024c): A 3D-nyomatás alkalmazásának lehetőségei az ellátási lánc kockázatainak csökkentése érdekében. *Katonai Logisztika*, 32(1–2), 248–266. Online: <https://doi.org/10.30583/2024-1-2-248>
- EMBER István (2024): Investigation of the Efficiency of Cumulative Cones Manufactured by Additive Processes from Various Materials. *Hadmérnök*, 19(3), 17–27. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2024.3.2>
- EMBER István et al. (2024): Az additív gyártástechnológia alkalmazásának lehetőségei és korlátai szikramentes kéziszerszámok készítése során. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 55–71. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.4>
- VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: https://real.mtak.hu/175716/1/HT_2022-6_cikk_09.pdf
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-nyomatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – II. rész. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023c): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Jogi forrás

Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája (2021). 1393/2021. (VI. 24.) Kormányhatározat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról. *Magyar Közlöny*, 2021. évi 119. szám, 5075–5077.

István Ember¹ 

Defence Industry Applications for Multi-Material Additive Manufacturing²

In the world of 3D printing, additive technology that uses multiple raw materials in parallel is a special field. It offers amazing advantages but also poses challenges in both factories and design interfaces. Segmented design, which fills every segment of space with data, offers the possibility of using special raw materials and combinations, which in many respects yields astonishing results. There is also a place for this technological innovation in the defence sector, but there are still limitations at present. These are particularly evident in the areas of material compatibility and quality assurance. Regardless, research into military applications is necessary, even if there are still obstacles in this area.

Keywords: 3D printing, additive manufacturing, voxel-based planning, defence industry, military logistics

Introduction

Additive manufacturing is a rapidly developing technology today. Classic plastic manufacturing technologies, such as injection moulding, offer significant advantages, but we must accept that 3D printing also has an important industrial role to play. These solutions have a place in industry, including the defence industry, where they can coexist and complement each other.

This technology also plays a significant role in military research, as it can help the defence sector overcome many challenges. Additive manufacturing can support the defence sector in addressing several challenges, including environmental constraints,³ the increased number of different drones used for military applications (Figure 1),⁴ the application of special, resistant metals such as titanium,⁵ or even simply auxiliary materials related to military education and

¹ Assistant Professor, Ludovika University of Public Service, MSOT Combat Support Department, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

² This paper was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.

³ PADÁNYI 2022; PADÁNYI 2024; DÉNES et al. 2024.

⁴ DARUKA 2014.

⁵ HLINKA et al. 2023.

training⁶ and aftermarket or spare parts⁷ when it comes to military equipment, 3D printing can provide a solution for everything.

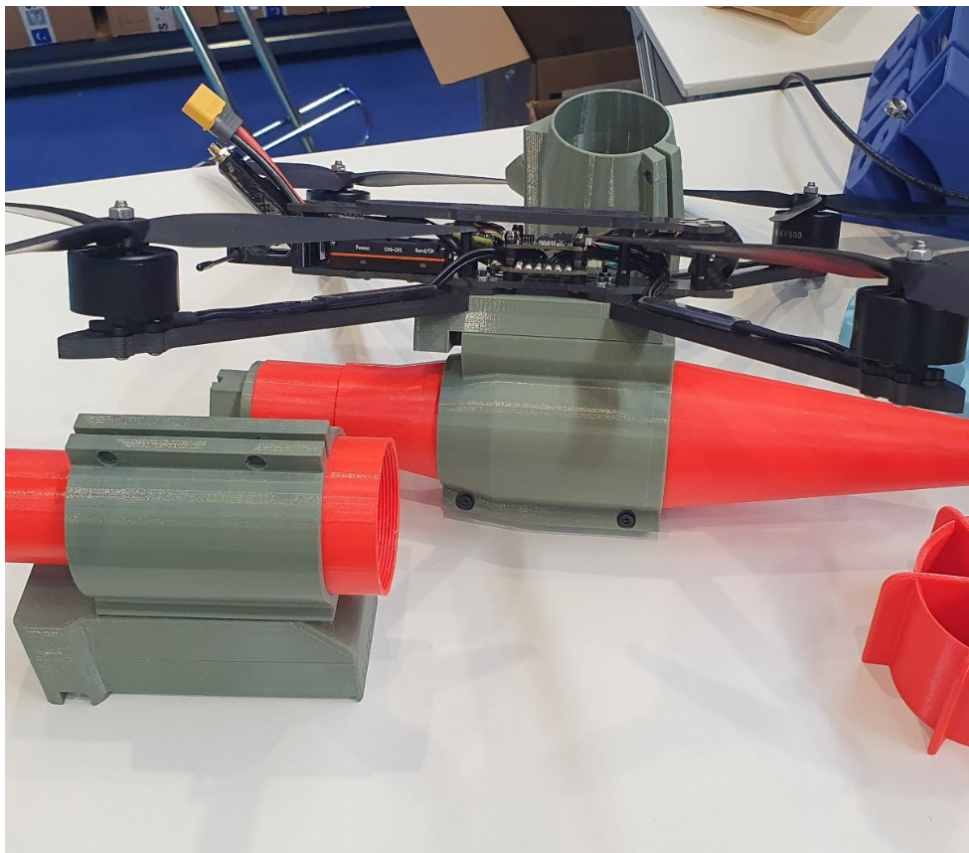


Figure 1: 3D printed drone parts

Source: compiled by the author

Of course, there are challenges that must be faced in this segment as well. This manufacturing technology requires a high level of component design, which today already involves topological optimisation and generative design.⁸ In addition, however, it is now possible to edit the raw materials from which the components and final products are made in much greater detail, including their material and other properties. Our goal is to summarise the possibilities and limitations of the military application of additive technology using multiple types of raw materials.

⁶ DARUKA et al. 2024; VÉG 2023.

⁷ GÁVAY 2024; GYARMATI–GÁVAY–HEGEDŰS 2026.

⁸ HEGEDŰS et al. 2024.

Volumetric pixels

A volumetric pixel (hereinafter: voxel) is the smallest discrete unit of three-dimensional space with volume to which geometric and material properties can be assigned. Properties can be assigned to each voxel – such as density, colour, other material properties, and other values – similar to how a picture element (hereinafter: pixel) stores values on a two-dimensional surface. Voxels therefore define the entire volume rather than the surface, allowing for more detailed modelling of the internal structure and any inhomogeneous properties, which is difficult, if not impossible, to achieve with traditional surface-based representations.⁹

3D printing technologies – primarily methods and technologies used in industry – often follow a logic whereby objects are formed from layered spatial elements or voxels. Each voxel is a tiny unit of space that the printer places on top of each other to form the final body. This voxel-based layering helps the printer to produce parts layer by layer, accurately and in great detail.¹⁰

Certain technological solutions – such as Hewlett-Packard (hereinafter: HP) Multi Jet Fusion (hereinafter: MJF) technology – allow each voxel to be controlled individually. This means that not only can the geometric shape be defined on a voxel-by-voxel basis, but even the material properties of the part (e.g. colour, mechanical properties, elasticity, etc.) can be modified at the voxel level. As a result, functionally separated or internally optimised parts can be produced that would not be feasible with conventional manufacturing processes.¹¹

One significant advantage of using voxels is that during design, the focus is not only on the outer surface, but the entire volume can be modified in minute detail. This is particularly important when designing functional components. In such cases, the internal structure affects the mechanical properties (mass, strength, energy absorption capacity, etc.). Voxels help, for example, in the design of internal lattice structures or in the creation of stepwise variations in material density, which improve performance without significantly changing the basic geometry.¹²

Traditional Computer-Aided Design (hereinafter: CAD) models are often based on polygonal surfaces, whereas voxel-based design also allows for the representation of an object's internal structure, supplemented with data. This helps, for example, in optimising products or automating simulations, where the relationship between the model and the analysis can be maintained at the voxel level. This solution makes it easier to quickly update, refine, and fine-tune the part during design iterations.¹³

The size of the voxels directly affects the resolution and accuracy of the 3D printed body or part. This is especially true for laser and microprinting processes. The smaller the voxels, the finer the details that can be printed, which is crucial when manufacturing precision parts

⁹ PADT 3D printing & scanning [s. a.]; TechTerms.com [s. a.].

¹⁰ HP 2018: 4–6.

¹¹ HP 2018: 4–7.

¹² polySpectra [s. a.].

¹³ Li et al. 2023.

or other microstructures. The size of the voxel therefore affects not only the visualisation, but also the actual physical details.¹⁴

The voxel-based approach is key to the implementation of multi-material additive manufacturing (hereinafter: MMAM). It enables the volume of an object to be broken down into discrete, locally deformable volume units. While traditional surface-based modelling primarily carries geometric information, voxel-based modelling can also store information related to material properties and functions. This creates a solid foundation that allows multiple materials and different material properties to appear within a single printing process. In MMAM, the voxel becomes the basic unit to which specific material composition, mechanical properties, or other special functions can be assigned. As a result, material distribution can be optimised beyond the layer level according to three-dimensional volumetric logic. Voxel-based design thinking thus directly links digital design and multi-material manufacturing.

This design paradigm is particularly relevant in military applications, where locally optimised mechanical behaviour, energy absorption, or multifunctionality can directly influence operational effectiveness and survivability.

Multi-material additive manufacturing

MMAM, or multi-material additive manufacturing, is a 3D printing technology in which two or more materials with different physical or chemical properties are incorporated into an object, essentially with microscopic precision and precise spatial control. This technology enables the production of components and objects with locally distinct mechanical, optical, and electrical properties. In practice, this may include materials that have functionally stepped properties or internal structures with hidden, embedded functions. MMAM does not only mean the use of multiple materials, because optimising their spatial distribution is also one of the possibilities inherent in the technology. Ultimately, this can result in, for example, intelligent, special properties or multifunctional components.¹⁵

Scientific interest in MMAM has grown significantly in recent decades, particularly in the field of polymer-blending systems. Thousands of scientific publications deal with this topic, with research focusing on improving the accuracy of the technology, developing interfaces, optimising manufacturing efficiency, and micro- or nanoscale MMAM. However, it is clear that materials scientists and engineers are exploring the topic in greater depth, presenting newer polymers and composite solutions, while interface optimisation is a less analysed subfield.¹⁶

MMAM can be implemented through several 3D printing technologies. These processes enable different material combinations and functions, including polymers, composites, hydrogels,¹⁷ and metal-polymer hybrid materials. These technologies include but are not limited to the following:¹⁸

¹⁴ BOUGDID–SEKKAT 2020.

¹⁵ Emergent Mind 2025.

¹⁶ ZHENG et al. 2021: 1.

¹⁷ VÉG 2024: 86.

¹⁸ ZHENG et al. 2021: 12–20.

- Fused Deposition Modelling (FDM/FFF): one of the most widely used technologies that extrudes different raw materials in sequence or in parallel using a multi-filament or multi-printhead configuration
- Material Jetting (MJ): simultaneous placement of multiple photopolymer raw materials in the form of droplets, which allows for the creation of very fine material compositions
- Direct Ink Writing (DIW): printing of various liquid or paste-like materials
- VAT Photopolymerisation (VP): integration of several types of photosensitive resins where the spatial composition can be modified by exposure to light
- Hybrid systems: simultaneous application of several technologies in a manufacturing process

Hybrid 3D printing platforms have therefore appeared in research. These integrate several different additive technologies into a single system. A good example of this is the m⁴ 3D printer, which combines InkJet, FDM/FFF, DIW, and Aerosol Jetting technologies and, supplemented with a robotic module, is capable of creating complex parts made from multiple raw materials. These systems enable the simultaneous processing of incompatible materials, thus significantly expanding the manufacturing spectrum.¹⁹

A key factor in FDM/FFF-based MMAM is the solution for feeding multiple materials and bonding them properly. The two main configurations in this technology segment are single nozzle/multi-feed (single nozzle, multiple feed channels) and multi-nozzle/multi-feed (multiple nozzles, separate for each material). The quality of the surfaces created during production has a decisive influence on mechanical performance, as the bond between different materials can be weak, especially if they are not compatible with each other.²⁰

One important area of MMAM is functionally graded materials (FGM), where continuous changes in material composition allow for precise adjustment of the local mechanical, thermal, or electrical properties mentioned above. This process is useful in the manufacture of components where the combination of mass, strength, and energy absorption is critical.²¹

Systems capable of simultaneously processing polymer-based materials are widespread in industry. For example, MJ technologies – such as certain Stratasys PolyJet systems – are capable of depositing droplets of multiple photopolymers with micron-level precision. These solutions are often used in prototype manufacturing and visual functional modelling.²²

Military applications of MMAM

In a general and broad sense, additive manufacturing is becoming increasingly important in the defence industry, as it is capable of producing complex, integrated, and functionally optimised components that would be difficult or costly to produce using traditional manufacturing

¹⁹ ROACH et al. 2019.

²⁰ WANG et al. 2024.

²¹ HASANOV et al. 2022: 1–4.

²² Emergent Mind 2025.

methods. Military applications often require special mechanical and material properties that cannot be optimally achieved with a single material but by combining multiple materials. In addition, decentralised manufacturing and the ability to produce on or near site are critical to the logistics of military operations and the organisation of supplies.²³

MMAM can therefore be particularly valuable in terms of battlefield logistics and operations, where mobile printers close to the front line can produce unique parts, tools, or accessories without relying on traditional procurement-based supply chains. This not only speeds up the repair of military equipment but also reduces the amount of inventory required and can increase the response time of technical personnel, which is a critical factor in any operational environment.²⁴

This process also shows significant potential for the manufacture of components for military unmanned aerial vehicles (hereinafter: UAV) and other aircraft. The integration of multiple materials can enable, for example, the integration of structural elements and embedded functions (e.g. antennas, sensors, other electronics) into a single component, significantly reducing the number of parts and the complexity of assembly. This integrated approach can offer significant advantages in optimising the mass-to-performance ratio and enabling higher-level design of aircraft.²⁵ As mentioned above, this form of manufacturing is not only feasible at the macro level but also plays a role in the production of microsystems and integrated mechanical-electrical units. The Defense Advanced Research Projects Agency (hereinafter: DARPA) for example conducts dedicated research programmes aimed at the development of high-resolution, multi-material microsystems, focusing on rapid manufacturing, functional integration, and system-level reliability.²⁶

However, MMAM for military purpose still faces serious technical and regulatory challenges. From a military perspective, quality assurance and certification represent critical bottlenecks, as the failure of a single component may directly affect mission success and personnel safety. These include material compatibility, surface bonding, quality assurance, and certification according to military standards. These issues are particularly important for devices used in military operations. As the process is a complex manufacturing method, testing processes are not easily adapted to the new technology. New procedures and methods may be required for testing to ensure high-quality products for soldiers serving in the field.²⁷

²³ COLORADO et al. 2023: 3900–3906.

²⁴ Raise3D 2025.

²⁵ MACHI 2017.

²⁶ DARPA 2024.

²⁷ Raise3D 2025.

Summary

The data on MMAM technology clearly points in one direction. The technology is developing rapidly and will be used more and more widely, including by players in the defence industry. This is no surprise, as special applications require components with special capabilities. In addition, defence procurement processes typically prioritise reliability, performance, and compliance with military standards over unit cost considerations, so high-quality products can also play a significant role.

The demand and opportunity to define the objects to be manufactured on a voxel basis is also growing. This technology offers amazing possibilities that are yet to be exploited, although it can already be applied based on serious and up-to-date results. However, compatibility issues with certain materials have not yet been resolved in all cases, which is a significant challenge in this area. Military compliance is another such area. It is simply essential that combatants use high-quality components and equipment in the field. As this requirement is fundamental and current quality assurance does not meet expectations in all areas, it may be necessary to expand it as soon as possible to ensure that MMAM products are also reliable.

The potential is significant. The demand for special raw materials is considerable, and technology is capable of meeting this demand despite minor shortcomings. With the updating of regulations and control methods, it is now possible for devices made from MMAM technology and multiple raw materials to become widespread in the defence sector.

References

- BOUGDID, Yahya – SEKKAT, Zouheir (2020): Voxels Optimization in 3D Laser Nanoprinting. *Scientific Reports*, 10(1), 10409. Online: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67184-2>
- COLORADO, Henry A. et al. (2023): Additive Manufacturing in Armor and Military Applications: Research, Materials, Processing Technologies, Perspectives, and Challenges. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 3900–3913. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.11.030>
- DARPA (2024): DARPA Explores Additive Manufacturing's Revolutionary Potential for Futuristic Microsystems. *DARPA*, 8 March 2024. Online: <https://www.darpa.mil/news/2024/additive-manufacturing>
- DARUKA, Norbert (2014): Oktokopter – A légiszállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célbajuttatásának újabb lehetősége. *Repüléstudományi Közlemények*, 26(2), 247–256. Online: https://epa.oszk.hu/02600/02694/00065/pdf/EPA02694_rtk_2014_2_247-256.pdf
- DARUKA, Norbert et al. (2024): A 3D-nyomtatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 5–18. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>
- DÉNES, Kálmán – KOVÁCS, Ferenc – TÓTH, Rudolf – KOVÁCS, Zoltán (2024): Sikeres lehet-e az Európai Unió klímapolitikája? *Hadtudomány* 34(E-szám), 221–235. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.221>
- Emergent Mind (2025): Multi-Material 3D Printing: Principles & Applications. *Emergent Mind*, 10 September 2025. Online: <https://www.emergentmind.com/topics/multi-material-3d-printing>
- GÁVAY, György (2024): Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomtatási technológia alkalmazásával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(3), 25–38. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.3.3>

- GYARMATI, József – GÁVAY, György – HEGEDŰS, Ernő (2026): *Potential Applications of Different 3D Printing Technologies in Military Logistics*. International Scientific Conference VojNa 2025, Belgrade. Online: https://www.researchgate.net/publication/399444603_Potential_applications_of_different_3D_printing_technologies_in_military_logistics
- HASANOV, Seymour et al. (2022): Review on Additive Manufacturing of Multi-Material Parts: Progress and Challenges. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(4) 1–32. Online: <https://doi.org/10.3390/jmmp6010004>
- HEGEDŰS, Ernő – GÁVAY, György – SEBŐK, István – TENCZEL, Martin Bence (2024): Topológiai optimalizálás, generatív tervezés és a 3D-nyomatás: Az additív gyártástechnológia ipari alkalmazhatóságának vizsgálata. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 141–154. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.10>
- HLINKA, József – ERŐSS, László Dániel – FENDRIK, Ármin – BÁN, Krisztián (2023): Changes in Mechanical Properties Due to Heat Treatment on Additive Manufactured Ti-64Al-4V. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 25(1), B1–B6. Online: <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.001>
- HP (2018): *HP Multi Jet Fusion Technology – Technical White Paper*. Online: <https://reinvent.hp.com/us-en-3dprint-wp-technical>
- LI, Ming et al. (2023): XVoxel-Based Parametric Design Optimization of Feature Models. *Computer-Aided Design*, 160. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2023.103528>
- MACHI, Vivienne (2017): Defense Industry Moves Toward Multi-Material 3D Printing. *National Defense*, 30 October 2017. Online: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2017/10/30/defense-industry-moves-toward-multi-material-3d-printing>
- MARKOVITS, Tamás – ERŐSS, László Dániel – FENDRIK, Ármin (2023): Analysing the Generative Design of Payload Part for the 3D Metal Printing. *Communications-Scientific Letters of the University of Zilina*, 25(1), B45–B51. Online: <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.010>
- PADÁNYI, József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok*. Budapest: Ludovika.
- PADÁNYI, József (2024): *The Effects of Climate Change on the Military: Risks, Challenges and Answers*. Budapest: Ludovika. Online: <https://doi.org/10.36250/01185>
- PADT 3D printing & scanning [s. a.]: *Voxel*. Online: <https://www.padtinc.com/digital-manufacturing/glossary/voxel/>
- polySpectra [s. a.]: *What is a Voxel? Understanding the Basics of Voxel Technology*. Online: <https://polyspectra.com/what-is-voxel/>
- Raise3D (2025): Military 3D Printing: How is Additive Manufacturing Changing the Defense Industry. *Raise3D*, 25 January 2025. Online: <https://www.raise3d.com/blog/military-defense-3d-printing/>
- ROACH, Devin J. et al. (2019): The m⁴ 3D Printer: A Multi-Material Multi-Method Additive Manufacturing Platform for Future 3D Printed Structures. *Additive Manufacturing*, 30. Online: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100819>
- TechTerms [s. a.]: *Voxel*. Online: <https://techterms.com/definition/voxel>
- VÉG, Róbert László (2023): A 4D nyomtatás és az okosanyagok alkalmazásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(4), 77–89. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.4.6>
- VÉG, Róbert László (2024): Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk a harc- és gépjárműtechnikában: Befecskendező szivattyú tehermentesítő szelep oktatási célú modell kialakítása 3D-nyomatási technológiával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(Különszám), 115–128. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.ksz.10>
- WANG, Zhaogui – WANG, Lihan – TANG, Feng – CHEN, Jingdong (2024): Multi-Material Additive Manufacturing via Fused Deposition Modeling 3D Printing: A Systematic Review on the Material Feeding Mechanism. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering* 239(6), 1–16. Online: <https://doi.org/10.1177/09544089231223316>
- ZHENG, Yufan – ZHANG, Wenkang – BACA LOPEZ, David M. – AHMAD, Rafiq (2021): Scientometric Analysis and Systematic Review of Multi-Material Additive Manufacturing of Polymers. *Polymers*, 13(12), 1957. Online: <https://doi.org/10.3390/polym13121957>

Brenda Dalma Barbara,¹  Kanyó Ferenc,²  Horváth Galina,³ 
Vásárhelyi-Nagy Ildikó⁴ 

A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 2. rész

Developing the Reaction Time of Drivers of Emergency Vehicles with the Help of BlazePod – Part 2

A megkülönböztető jelzést használó járművek vezetése komplex készségeket igényel. A járművezetőknek nemcsak a forgalmi környezethez és a mentési körülményekhez kell alkalmazkodniuk, hanem a rendszeres képzésük és az észlelési képességeik folyamatos nyomon követése is elengedhetetlen. A közúti járművezetők pályaalkalmassági vizsgálatáról szóló szabályozás alapján a járművezetőknek rendelkezniük kell az öt évre kibocsátott PÁV 1. pályaalkalmassági vizsgálat, amelynek része a reakció- és döntéshozatali képességek felmérése. Jelen cikk szerzői elsőként vizsgálták Magyarországon és Európában a BlazePod speciális fejlesztőprogram alkalmazási lehetőségeit a katasztrófavédelmi és a sürgősségi egészségügyi ellátás területén. A cikksorozat első részében a szerzők a reakciókészség fejlesztésével kapcsolatos elméleti ismereteket és a BlazePod eszköz alkalmazási lehetőségeit vizsgálták meg. Bemutatták továbbá az empirikus kutatás célkitűzéseit, tartalmát és módszertanát. A cikksorozat második részében pedig az empirikus kutatásaik eredményeit foglalják össze.

Kulcsszavak: pályaalkalmasság, reakciókészség, BlazePod, megkülönböztető jelzést használó járművek, közlekedési balesetek megelőzése

¹ Hallgató, Semmelweis Egyetem, e-mail: dalma.brenda@gmail.com

² Tűzoltósági főfelügyelő, Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság, e-mail: ferenc.kanyo@katved.gov.hu

³ Tudományos segédmunkatárs, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: horvath.galina@uni.nke.hu

⁴ Főiskolai tanársegéd, Semmelweis Egyetem, e-mail: ildiko471@gmail.com

Driving vehicles using distinctive signs requires complex skills. Drivers not only have to adapt to the traffic environment and rescue circumstances, but regular training and continuous monitoring of their perception skills are also essential. According to the regulation on the roadworthiness test of road vehicle drivers, drivers must have the PÁV1 roadworthiness test issued for five years, which includes an assessment of reaction and decision-making skills. The authors of this article were the first to examine the application possibilities of the BlazePod special development programme in the fields of disaster management and emergency healthcare in Hungary and Europe. In the first part of the article series, the authors had examined the theoretical knowledge related to the development of responsiveness and the application possibilities of the BlazePod tool. The objectives, content and methodology of the empirical research were also presented. In the second part of the article series, they summarise the results of their empirical research.

Keywords: roadworthiness, responsiveness, BlazePod, emergency vehicles, traffic accident prevention

Bevezetés

A közlekedési balesetek megelőzése és a sürgősségi helyzetek hatékony kezelése érdekében külön figyelmet érdemelnek a megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművek vezetői. A járművezetők reakcióideje és döntéshozatali képessége közvetlenül befolyásolja a balesetek elkerülését és az érintettek életének védelmét. A megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművek vezetése komplex készségeket igényel, amelyek rendszeres fejlesztést és nyomon követést kívánnak. A közúti járművezetők pályaalismassági vizsgálatáról szóló 444/2017. (XII. 27.) Korm. rendelet alapján a járművezetőknek rendelkezniük kell az öt évre kibocsátott PÁV1 (Pályaalismassági Vizsgálat 1) vizsgálat, amelynek keretében az érintettek reakció- és döntéshozatali képességeit is felméri. A PÁV1 vizsgálat a megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművezetők számára kötelező. A vizsgálat során a vezetői képességek felmérését végzik, kiemelt figyelmet fordítva a reakció- és a döntéshozatali képességek kiértékelésére. Azonban ez egy időszakos vizsgálat, amely nem biztosítja a reakcióidő folyamatos monitorozását, valamint fejlesztését. Korábbi kutatások szerint a gépjárművezetők magát a vizsgálatot is stresszforrásként élik meg.⁵ Erre a problémára adhat választ a BlazePod, amely a reakcióidő mérését és fejlesztését végzi, így biztosítva, hogy a járművezetők készségei ne csak a PÁV1 vizsga időszakában, hanem azt követően is folyamatosan fejlődjenek. Az eddigi kutatások szerint a gyors döntéshozatal és a vizuális ingerekre adott reakciókészség fejleszhető különböző módszerekkel, beleértve a szimulációs tréningeket, pszichomotoros tesztek és interaktív reakcióidő-fejlesztő eszközöket, amelyek közé a BlazePod is tartozik.⁶

A BlazePod egy interaktív reakciófejlesztő, vizuális ingereken, elsősorban szín- és fénylogikán alapuló eszköz, amely gyors és pontos válaszadásra ösztönzi a felhasználót. Ezáltal javul a reakcióidő, illetve a kognitív és a koordinációs készségek. A BlazePodot sikeresen alkalmazzák

⁵ KONDÁS–KUN–HÉRINCS 2016.

⁶ COUTINHO et al. 2018.

a rehabilitációs területen. Mértékadó szakirodalom támasztja alá, hogy a BlazePod edzésprogram használata a sportolók és a rehabilitáció alatt álló személyek körében jelentős reakcióidő-fejlődést eredményezhet.⁷ Ezért a szerzők feltételezték, hogy a tréningmódszer esetleg használható egy átlagnál fejlettebb reakciókészséggel rendelkező csoportban is.

Jelen empirikus kutatás célja, hogy értékelje a BlazePod eszközzel végzett edzésprogram hatékonyságát a megkülönböztető jelzést használó járművezetők reakcióidejének javításában. A BlazePod eszköz innovatív jellege lehetőséget ad arra, hogy a járművezetők reakcióképességét valós időben mérjük, emellett fejlesszük is. A kutatás tehát nemcsak a járművezetők képzésével kapcsolatos elméleti viták részét képezi, hanem közvetett gyakorlati megoldásokat is kínál a közúti közlekedés biztonságának javítására.

Jelen fejezetben a cikksorozat első részében bemutatott elméleti megközelítés, célkitűzések, hipotézisek és módszertan alapján a kutatási eredményeket ismertetjük, majd értelmezzük és értékeljük. Ugyancsak jelen cikk tartalmazza a szerzők javaslatait a módszertan alkalmazására, és felhívja a figyelmet annak korlátaira is.

A jelen kutatás keretében feldolgozott témakör és kutatási tapasztalatok kapcsolódnak a katasztrófavédelmi kutatási területhez, és megfelelő alapot biztosítanak a vonatkozó társadalmi igényeknek történő magas szintű megválaszolásához.⁸ A kutatási eredmények a katasztrófavédelmi alkalmazáson túl sikeresen felhasználhatók a rendvédelmi és a honvédelmi célból üzemeltetett gépjárművek vezetőinek képzésénél is.⁹ Ilyen járművek lehetnek például a honvédelmi veszélyesáru-szállítmányok, mint a robbanóanyag-szállítmányok vagy a túlmeretes szállítmányok is.¹⁰

Az empirikus kutatási eredmények bemutatása

A kutatási eredmények feldolgozása, statisztikai elemzése

A mérések során a gépjárművezetők teljesítményét vizsgáló feladatok eredményeit a szerzők elektronikus táblázatban rögzítették és dokumentálták. Az adatokat a táblázatokon túl a BlazePod telefonos applikációja is tárolta és rendszerezte. Az eredmények statisztikai elemzését a szerzők Microsoft Excel program segítségével végezték el. Az elemzés során a szerzők megvizsgálták a vizsgálati és a kontrollcsoport teljesítményének változását, a hipotézisekben felállított csoportok fejlődését, valamint elemezték az egyéni fejlődéseket.

A szerzők a kapott eredmények kiértékeléséhez statisztikai módszereket: párosított t-próbát és egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztak.

⁷ COTA–KONTIĆ–KONTIĆ 2022.

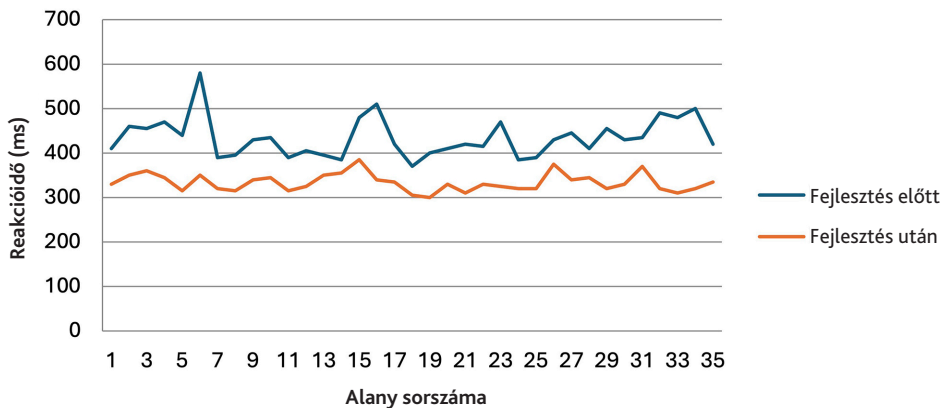
⁸ VASS et al. 2024.

⁹ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.

¹⁰ KOVÁCS–EMBER 2023.

A reakcióidők szerinti mérések tapasztalatai

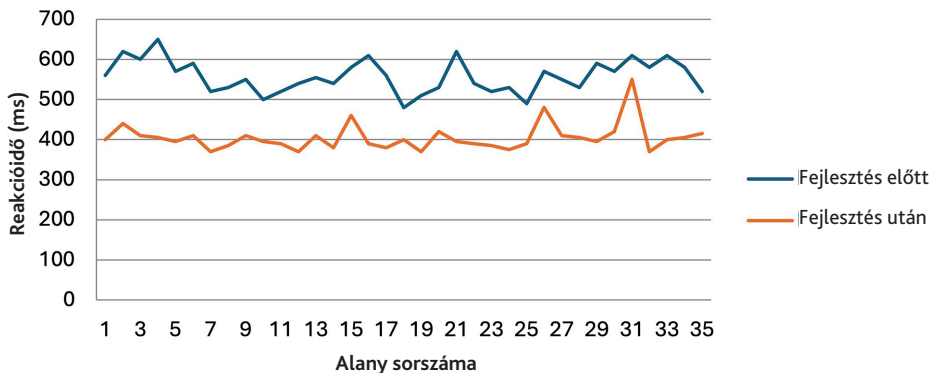
Az első feladat esetében elvégzett t-próba eredményei alapján elmondható, hogy a párosított t-próba szignifikáns különbséget mutatott a reakcióidők között ($t [34] = 14,61; p < 0,001$). A fejlesztés után a reakcióidők szignifikánsan csökkentek, így statisztikai értelemben bizonyított, hogy a fejlesztőprogram az első feladat kapcsán hatással volt az egyes gépjárművezetők reakcióidejére.



1. ábra: A fejlesztett csoport változása az első feladat során ($N = 35$)

Forrás: a szerzők szerkesztése

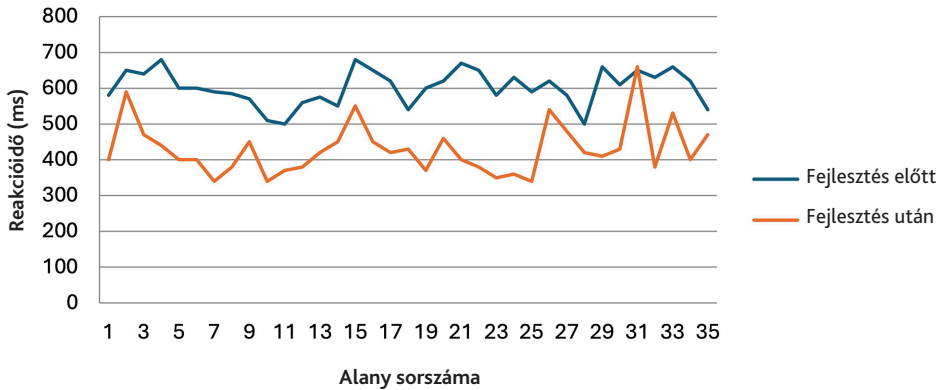
Az első feladat adataihoz rendkívül hasonló eredményt tapasztaltunk a második feladat vizsgálati adatait elemezve. A p-érték rendkívül alacsony volt (jóval kisebb, mint az általánosan elfogadott 0,05-ös szignifikanciaszint), így erős statisztikai bizonyítékunk van arra, hogy a fejlesztőprogram jelentős mértékben csökkentette a reakcióidőt. Az eredmények alapján a nullhipotézist (miszerint nincs változás a reakcióidőben) elutasíthatjuk, és kijelenthetjük, hogy a tréning szignifikáns javulást eredményezett.



2. ábra: A fejlesztett csoport változása a második feladat során ($N = 35$)

Forrás: a szerzők szerkesztése

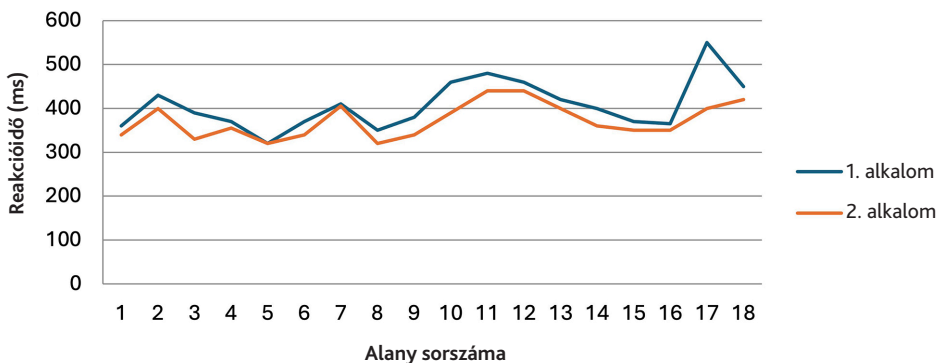
A harmadik, legnehezebb, legösszetettebb feladat során tapasztalt értékek esetében a p-érték az előzőekhez hasonlóan extrém alacsony. Összességében a három feladat során tapasztalt eredmények arra engednek következtetni, hogy a fejlesztőprogram hatása nagyon erős, és ezáltal igazolható.



3. ábra: A fejlesztett csoport változása a harmadik feladat során (N=35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

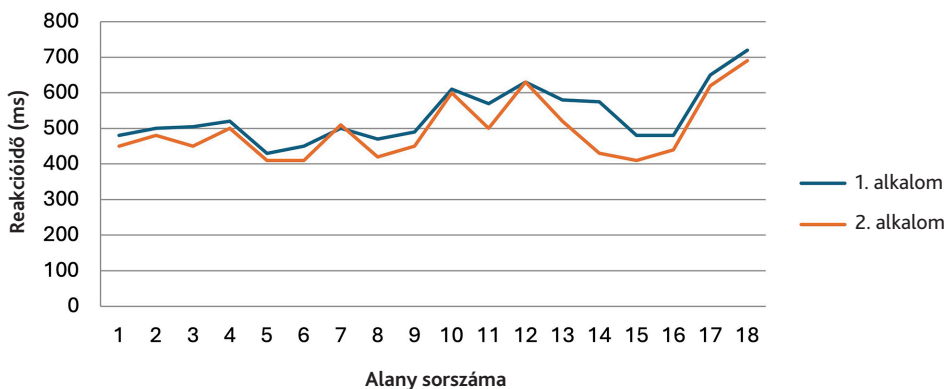
Ahhoz, hogy teljes képet kaphassunk a fejlesztés hatékonyságáról, mindenképpen szükséges a kontrollcsoport adatainak elemzése is. A kontrollcsoport esetében is ugyanazt a három feladatot mértük és vizsgáltuk. Az első feladat esetében a p-érték alacsony volt ($p < 0,05$), ami statisztikailag szignifikáns különbséget jelez.



4. ábra: A kontrollcsoport fejlődése az első feladat során (N=18)

Forrás: a szerzők szerkesztése

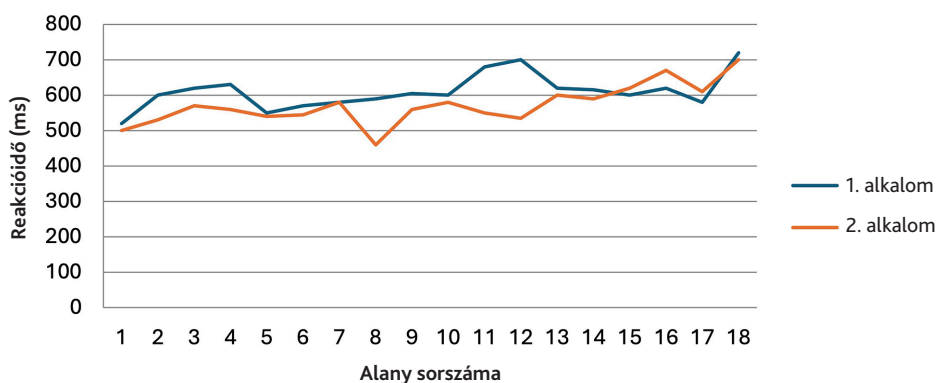
Azonban ennek némileg ellentmond, hogy a feladatok során a kiinduló értékekhez képest előfordult, hogy hosszabb volt a reakcióidő a második mérés esetében.



5. ábra: A kontrollcsoport fejlődése a második feladat során (N = 18)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A harmadik feladat során a szerzők a kontrollcsoport reakcióidőinek statisztikai elemzésére a fentiekhez hasonlóan szintén párosított t-próbát alkalmaztak.



6. ábra: Kontrollcsoport fejlődése a harmadik feladat során (N = 18)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A vizsgálat segítségével összehasonlíthatóvá váltak az egyének két időpontban mért reakcióidőit, kiküszöbölve az egyéni különbségekből adódó variabilitást. Az átlagos reakcióidő a második mérés során csökkent az első méréshez képest. A statisztikai szignifikancia megállapításához a t-próba p-értékét vizsgáltuk, amely $p = 0,00283$ értéket adott. Ez az érték jelentősen kisebb, mint a hagyományosan alkalmazott 0,05-ös szignifikanciaszint, így elutasítható a nullhipotézis, miszerint nincs különbség az első és a második mérés között. Más szóval, a tapasztalt különbség nem pusztán a véletlennek tudható be.

Három szolgálati hely összehasonlítása

Az 1. táblázat a három szolgálati hely eredményeit összegzi:

1. táblázat: Szolgálati helyek t-próbája (N = 35)

| Szolgálati hely | Átlag (előtte) | Átlag (utána) | Különbség | t-érték | p-érték |
|-----------------|----------------|---------------|-----------|---------|----------|
| 1. hely | 487,81 ms | 359,67 ms | 128,14 ms | 15,78 | <0,00001 |
| 2. hely | 394,53 ms | 285,56 ms | 108,97 ms | 14,32 | <0,00001 |
| 3. hely | 659,90 ms | 405,57 ms | 154,33 ms | 14,97 | <0,00001 |

Forrás: a szerzők szerkesztése

A legnagyobb reakcióidő-csökkenést a harmadik szolgálati helyen tapasztaltuk (154,33 ms), míg a legkisebbet a második helyen (108,97 ms). Ezek a különbségek azonban nem olyan mértékűek, hogy alkalmasak legyenek következtetések levonására. A t-érték minden helyen magas (14 fölött), ami azt mutatja, hogy a fejlesztés hatása mindenhol erős. Az első és a harmadik szolgálati hely kiindulópontjaként mért reakcióidők hosszabbak voltak, így náluk nagyobb mértékű javulás figyelhető meg. A második hely kiindulási értékei alacsonyabbak, így ott kisebb mértékű volt a csökkenés is. Összességében megállapítható, hogy a fejlesztőprogram minden szolgálati helyen jelentős reakcióidő-csökkenést eredményezett, de a kiindulási értékek befolyásolták a javulás mértékét.

Életkorok szerinti változások

Az életkor szerinti megoszlás, továbbá a fejlesztőprogram hasznossága között első ránézésre nincs szoros összefüggés.

2. táblázat: Korcsoport szerinti reakcióidő-változás (N = 35)

| | Fiatal | Középkorú | Idősebb |
|------------------|--------|-----------|---------|
| Fejlesztés előtt | 418,50 | 442,92 | 446,80 |
| Fejlesztés után | 331,93 | 332,62 | 353,00 |
| Különbség | 86,57 | 110,31 | 93,80 |

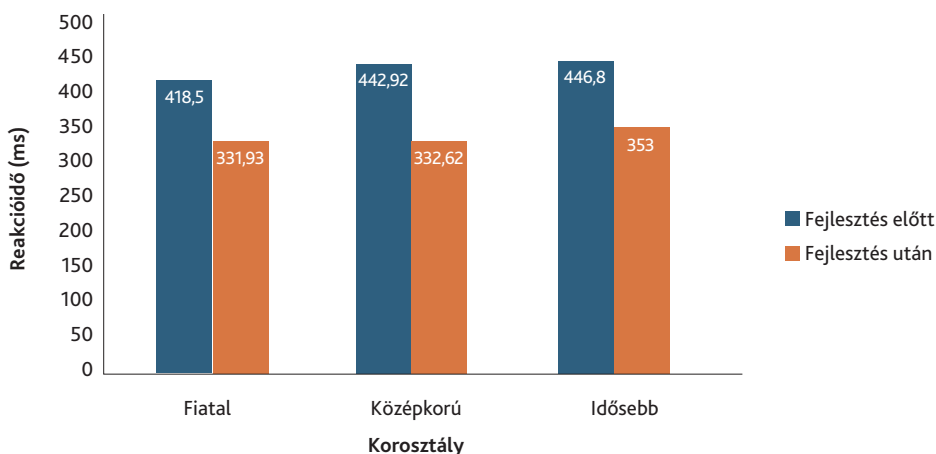
Megjegyzés: értékek milliszekundumban

Forrás: a szerzők szerkesztése

Vizsgáltuk azt is, hogyan függ össze – ha egyáltalán összefügg – a járművezetők életkora a tréningen elért reakcióidő-javulás mértékével. A szerzők a fejlesztőprogram hatékonyságának vizsgálata során az eredményeket három életkori csoport (fiatal, középkorú, idősebb) alapján elemezték. A cél annak meghatározása volt, hogy a tréningen elért reakcióidő-javulás mértéke szignifikánsan eltér-e az egyes csoportok között.

A fiatal járművezetők csoportját 15 fő alkotta. A fejlesztést megelőző reakcióidők 370 és 491 ms között változtak, ami a fejlesztés után 310 és 372 ms közötti értékeket mutatott. A reakcióidő-javulás átlaga ebben a csoportban 69 és 181 ms között mozgott, az átlagos csökkenés pedig 86,9 ms volt. A középkorú járművezetők csoportjába 14 fő tartozott. Ebben a csoportban a fejlesztés előtti reakcióidők 387 és 516 ms között helyezkedtek el, míg a fejlesztést követően 302 és 375 ms közötti értékeket mértünk.

A reakcióidő-javulás átlaga 44 és 175 ms között mozgott, az átlagos csökkenés pedig 101,6 ms volt. Az idősebb résztvevők (6 fő) esetében a fejlesztés előtti reakcióidők 382 és 480 ms között változtak, a tréning után pedig 316 és 383 ms közé csökkentek. A reakcióidő-javulás átlaga 66 és 136 ms között mozgott, az átlagos csökkenés pedig 100,8 ms volt.



7. ábra: Életkor szerinti reakcióidő-változás a fejlesztett csoportban (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

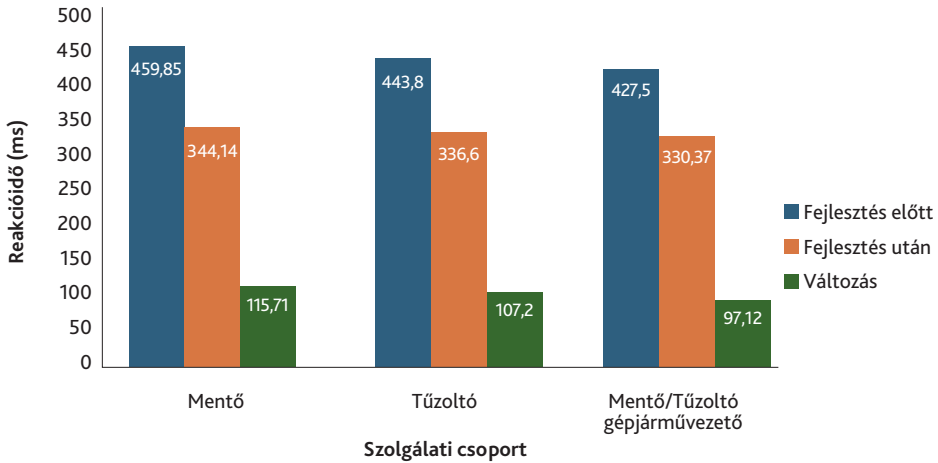
Továbbá a kutatás során a szerzők megvizsgálták a három csoport reakcióidő-javulásának szórását és átlagát is. Ennek célja az volt, hogy feltárják, a csoportok közötti eltérés nagyobb-e, mint a csoportokon belüli. A kapott F-érték: 1,49, ami azt mutatja, hogy a csoportok közötti különbség nem kiugróan nagy. A p-érték: 0,24. Ez az érték pedig azt jelzi, hogy a különbségek valószínűleg csak véletlen ingadozások, és nincs erős bizonyíték arra, hogy a korcsoportok reakcióidő-javulása ténylegesen eltérne egymástól.

A fejlesztőprogram hatékonyságának elemzése eltérő szolgálati csoportok esetében

Az elemzés alapját a már ismerttetett három, eltérő nehézségű feladat teljesítésének reakcióidő-eredményei képezik.

Az első feladat esetében a fejlesztés előtti reakcióidők a mentő gépjárművezetőknél 459,9 ms, a tűzoltóknál 443,8 ms, míg a mentő/tűzoltó gépjárművezetőknél 427,5 ms voltak. A fejlesztést követően mindhárom csoport esetében jelentős csökkenés figyelhető meg, azonban a reakcióidő

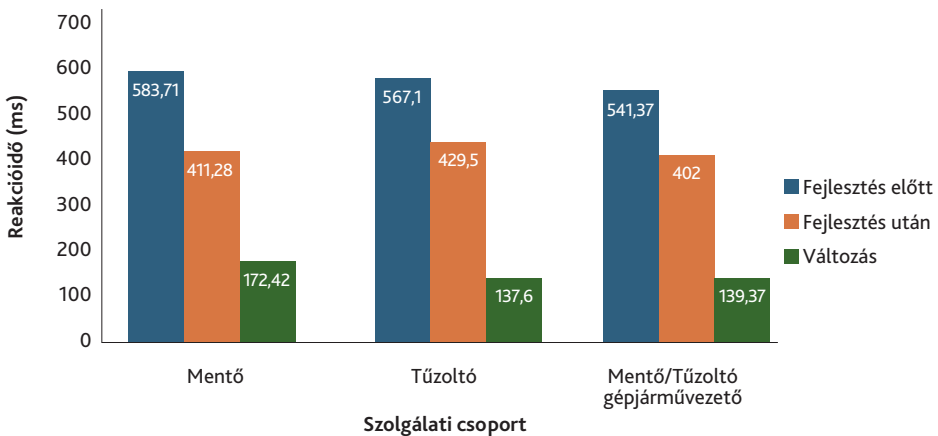
javulásának mértéke eltérő. A legnagyobb javulás a mentők esetében volt tapasztalható (115,7 ms), míg a tűzoltóknál 107,2 ms, a mentő/tűzoltó gépjárművezetőknél pedig 97,13 ms volt a csökkenés.



8. ábra: Reakcióidő-változás a különböző szolgálati csoportoknál – első feladat (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

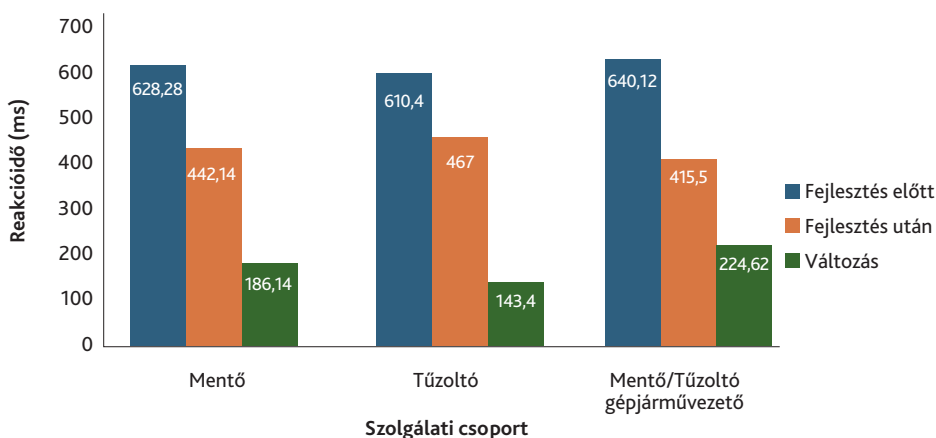
A második feladat során a fejlesztés előtti reakcióidők magasabb értékeket mutattak, ami azt is alátámasztja, hogy ez a feladat összetettebb volt az elsőnél. A fejlesztés előtti reakcióidők a mentőknél 583,7 ms, a tűzoltóknál 567,1 ms, a mentő/tűzoltó gépjárművezetőknél pedig 541,4 ms voltak. A tréning után a mentők reakcióideje 411,3 ms-ra, a tűzoltóké 429,5 ms-ra, a mentő/tűzoltó gépjárművezetőké pedig 402 ms-ra csökkent. A javulás mértéke ebben az esetben a mentőknél volt a legnagyobb (172,4 ms), míg a tűzoltóknál 137,6 ms, a mentő/tűzoltó gépjárművezetőknél pedig 139,4 ms volt.



9. ábra: Reakcióidő-változás a különböző szolgálati csoportoknál – második feladat (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A harmadik feladat még nagyobb kezdeti reakcióidőket eredményezett, ami azt jelzi, hogy ez a feladat volt a legnehezebb a három közül. A fejlesztés előtti reakcióidők a mentőknél 628,3 ms, a tűzoltóknál 610,4 ms, míg a mentő/tűzoltó gépjárművezetőknél 640,1 ms értéket mutattak. A fejlesztést követően a mentők reakcióideje 442,1 ms-ra, a tűzoltóké 467 ms-ra, míg a mentő/tűzoltó gépjárművezetőké 415,5 ms-ra csökkent. Az ebből származó javulás mértéke a mentő/tűzoltó gépjárművezetők esetében volt a legnagyobb (224,6 ms), míg a mentőknél 186,1 ms, a tűzoltóknál pedig 143,4 ms.



10. ábra: Reakcióidő-változás a különböző szolgálati csoportoknál – harmadik feladat (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

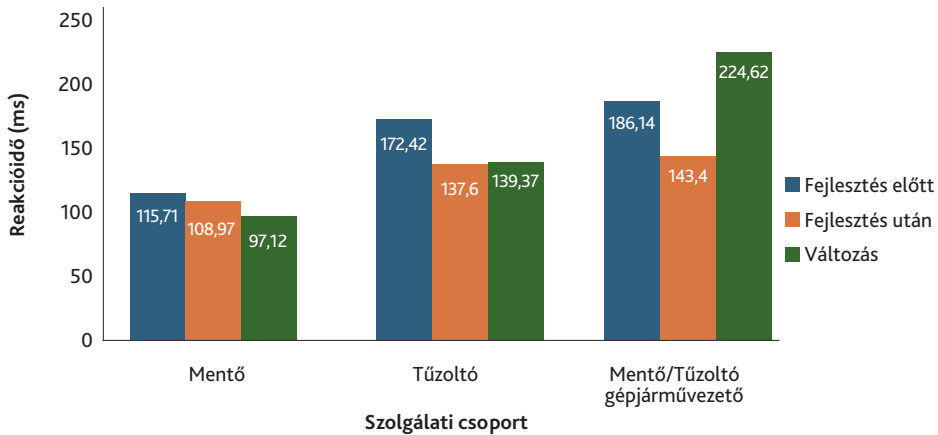
Alternatív hipotézisként az is felállítható, hogy van legalább egy csoport, amelynek javulása szignifikánsan eltér a többitől. Az ANOVA-teszt eredményei (F-érték: 0,384; p-érték: 0,686) alapján megállapítható, hogy mivel a p-érték jóval nagyobb a szokásos 0,05-ös szignifikanciaszintnél, nincs statisztikailag szignifikáns különbség a három szolgálati csoport reakcióidő-javulása között.

A mentők és a tűzoltók eredményeinek összehasonlítása során az bontakozott ki, hogy a mentőknél a reakcióidő csökkenésének átlaga magasabb volt, mint a tűzoltóknál. A mentőknél átlagosan nagyobb javulás volt megfigyelhető (például 115,7 ms javulás a tűzoltók 107,2 ms javulásához képest). Ez arra utalhat, hogy a fejlesztőprogram a mentőknél hatékonyabb volt, de arra is, hogy a kezdeti állapotuk eltért a tűzoltókétól. A szórásvizsgálat azt mutatta, hogy a mentők körében nagyobb egyéni eltérések voltak tapasztalhatók, vagyis a résztvevők egy részénél kiugróan jó fejlődés történt, míg másoknál mérsékeltbb változás mutatkozott.

Amennyiben a mentők eredményét hasonlítjuk össze a vegyes csoporttal, úgy arra a megállapításra juthatunk, hogy a vegyes csoportban a javulás mértéke alacsonyabb volt, mint a mentők esetében (97,1 ms vs. 115,7 ms). Ez arra enged következtetni, hogy azok a járművezetők, akik mindkét típusú munkában részt vesznek, kevésbé profitáltak a fejlesztőprogramból. Egy lehetséges magyarázat az, hogy számukra a tréning nem célzottan egy adott feladatkörre fókuszált, így kevésbé volt hatékony. Ezenkívül az is elképzelhető, hogy

a kétféle munkakör eltérő vezetési stílust, döntéshozatali stratégiát igényel, ami csökkentheti a tréning által elérhető egységes fejlődést.

A tűzoltók eredményeit összevetve a vegyes csoporttal azt láthatjuk, hogy érdekes módon a vegyes csoport reakcióidő-javulása nagyon közel állt a tűzoltókéhoz (97,1 ms vs. 107,2 ms), sőt, néhány egyedi mérésben a tűzoltók bizonyos tagjai nagyobb mértékű fejlődést mutattak. Ez arra utalhat, hogy a tűzoltók és a vegyes csoport hasonló kognitív és vezetési készségekkel rendelkeznek, illetve a tréning során hasonló fejlődési mintázatot mutattak.



11. ábra: Reakcióidő-változás a különböző szolgálati csoportoknál összegezve (N = 35)

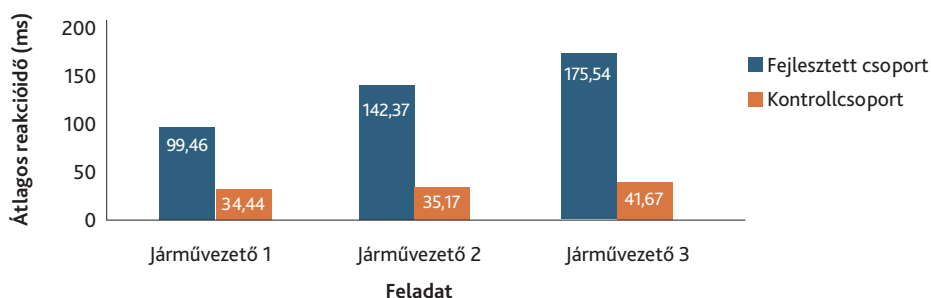
Forrás: a szerzők szerkesztése

A reakcióidő-javulás mértéke a különböző nehézségű feladatoknál

A szerzők nullhipotézise szerint a reakcióidő-javulás átlaga nem különbözik szignifikánsan a három különböző nehézségű feladat esetén. Alternatív hipotézisként pedig legalább egy nehézségi szinten eltérő mértékű a reakcióidő-javulás. A következtetések levonása érdekében egytényezős varianciaanalízist, ANOVA-tesztet végeztünk el. Ennek során azt vizsgáltunk, hogy van-e szignifikáns különbség a javulás mértéke között a három különböző feladattípusban.

A feladatcsoportok átlagos reakcióidő-javulása a következőképpen alakult:

- könnyű feladat: 99,46 ms;
- közepes feladat: 142,37 ms;
- nehéz feladat: 175,54 ms.



12. ábra: Reakcióidő-változás a különböző nehézségű feladatok alapján (N = 53)

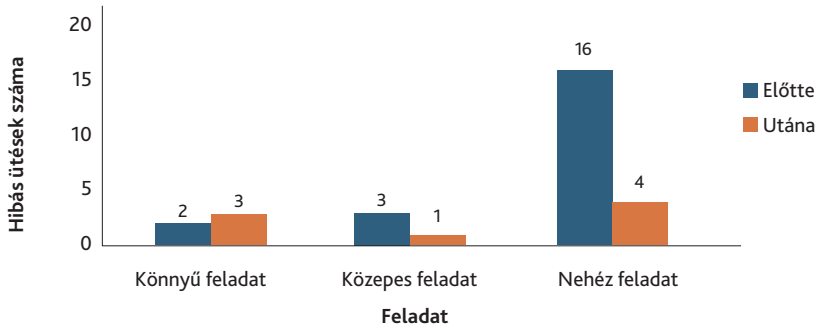
Forrás: a szerzők szerkesztése

A nullhipotézis szerint a három feladat között nincs szignifikáns különbség a reakcióidő-javulás mértékében. Az ANOVA-teszt eredménye azonban nagyon alacsony p-értéket ($p = 1,74 \times 10^{-7}$) mutatott, amely jelentősen kisebb, mint az elfogadott szignifikanciaszint ($\alpha = 0,05$). Ez azt jelenti, hogy a nullhipotézis elvethető, vagyis a különböző nehézségű feladatok között szignifikáns különbség van a reakcióidő-javulás mértékében. Mivel az F-érték (18,20) jóval nagyobb a kritikus F-értéknél (3,085), ez tovább erősíti azt a következtetést, hogy a három csoport között valóban lényeges eltérés tapasztalható.

A kontrollcsoport esetében a reakcióidő-javulás mértéke: a könnyű feladatoknál 31 ms, a közepes feladatoknál 28 ms, a nehéz feladatoknál pedig 37 ms volt.

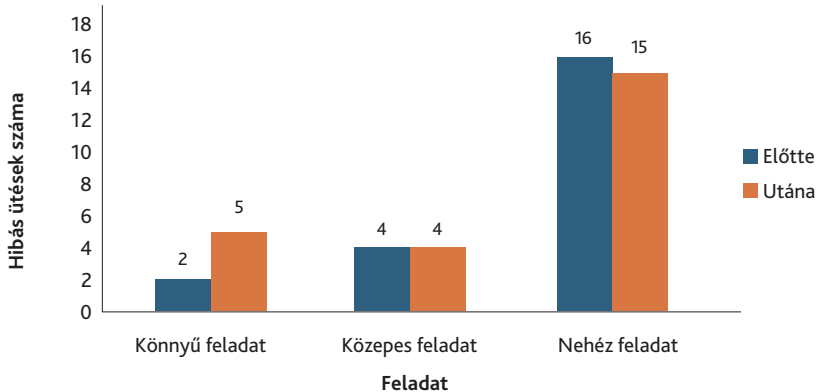
Helyes és hibás érintések

A fejlesztőprogram során három különböző nehézségű feladatban mértük a résztvevők teljesítményét, ahol az egyszerű reakcióidő mérése volt a könnyű feladat, a választásos reakcióidő értékelése volt a közepesen nehéz feladat, míg a két színnel végzett választásos reakcióidő teljesítése volt a nehéz minősítésű feladat: első feladat: egyszerű reakcióidő volt a könnyű, második feladat: választásos reakcióidő volt a közepes, harmadik feladat: választásos reakcióidő két fókusz színnel volt a nehéz. A vizsgálat fókuszcsoportja olyan járművezetőkből állt, akik aktív tréningben részesültek, míg a kontrollcsoport tagjai ugyanazokat a feladatokat hajtották végre, de fejlesztés nélkül. Az eredmények alapján egyértelmű eltérések figyelhetők meg a két csoport fejlődésében, különösen a hibaszám csökkenése és a pontos találatok növekedése terén.



13. ábra: Hibás ütések száma a mért (N=35) és a kontrollcsoportban (N = 18)

Forrás: a szerzők szerkesztése



14. ábra: Hibás ütések száma a mért (N=35) és a kontrollcsoportban (N = 18)

Forrás: a szerzők szerkesztése

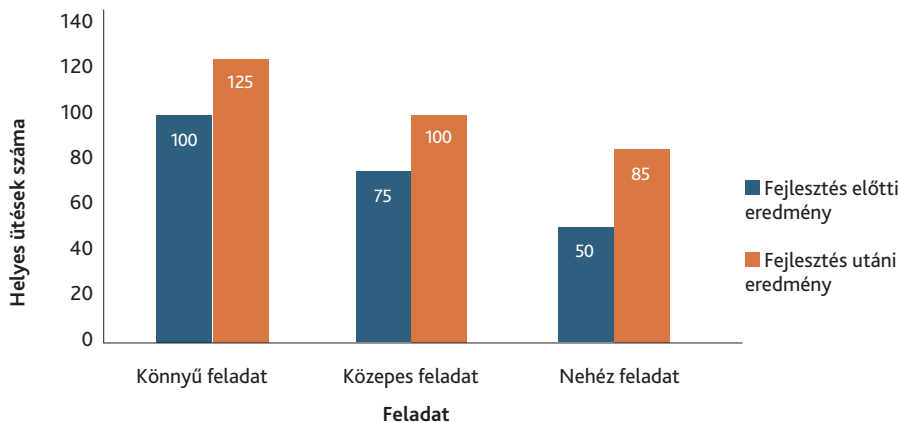
A szerzők nullhipotézisként állították fel, hogy az egyéni fejlődéseket tekintetbe véve az egyén helyes ütései száma nem változik szignifikánsan a fejlesztőprogram következményeként, vagy akár csökkenhet az első mért alkalomhoz képest. Az elemzéshez a szerzők párosított t-próbát alkalmaztak, amely lehetőséget biztosított annak eldöntésére, hogy a két mérés közötti eltérés pusztán a véletlen hatásának tudható-e be, vagy statisztikailag szignifikáns különbség mutatható ki.

A könnyű feladat esetében az első mérés során az átlagos teljesítmény a helyes ütések számára összpontosítva 103,06, míg a fejlesztőprogram elvégzését követő mérésnél 124,26 volt, ami egyértelmű javulásra utal. A teljesítmény szórása az első mérésnél nagyobb volt (82,82), míg a második mérésnél kisebb (46,31), ami azt jelzi, hogy az egyének közötti eltérések csökkentek, tehát a teljesítmények stabilizálódtak. Mivel a kapott p-érték ($2,41 \times 10^{-15}$)

rendkívül alacsony, így a nullhipotézis – miszerint a teljesítmény nem változik jelentősen – elvethető. Ez azt jelenti, hogy a fejlődés nem a véletlen műve, hanem tényleges javulás figyelhető meg.

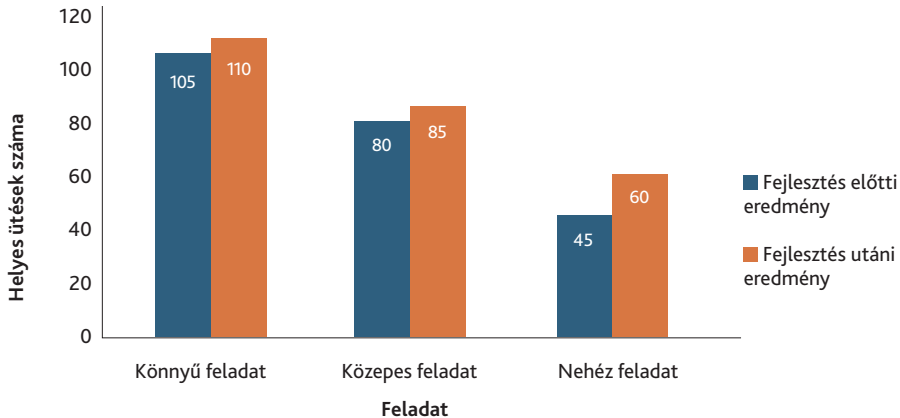
A közepes nehézségű feladat esetében az első mérési időpontban az átlagos teljesítmény 75,38, míg a fejlesztést követő mérésnél 100,00, ami szintén jelentős növekedést mutat. Az adatok szórása az első mérésnél 244,79, míg a második mérésnél 40,12, ami azt jelzi, hogy a teljesítmények nemcsak növekedtek, hanem az egyének közötti teljesítménykülönbségek is csökkentek, azaz a fejlődés egyenletesebb lett. A p-érték ($8,58 \times 10^{-11}$) ismételten messze alatta marad a 0,05-ös szignifikanciaszintnek, így a nullhipotézis e nehézségi fok esetében is elvethető. Elmondható, hogy valós fejlődés történt ennél a feladattípusnál is.

A nehéz feladat esetében az első mérés során az átlagos teljesítmény 50,46 volt, míg a második mérés esetében 84,74, amely a legnagyobb növekedést mutatja a három feladat közül. Azonban ebben az esetben a teljesítmények közötti eltérések növekedtek, mivel az első mérés szórása 289,31, míg a második mérésé 465,90 volt. Ez arra utal, hogy bár a fejlődés összességében jelentős, az egyéni teljesítmények között nagyobb különbségek alakulhattak ki – tehát egyesek gyorsabban, mások lassabban haladtak. Mindezekkel együtt a p-érték ($9,10 \times 10^{-11}$) akárcsak a másik két, eltérő nehézségű feladat esetében nagyon alacsony, így a nullhipotézis ebben az esetben is elvethető. Az adatok tehát egyértelműen arra utalnak, hogy a nehéz feladat esetén is szignifikáns fejlődés történt.



15. ábra: Helyes ütések száma a mért ($N = 35$) és a kontrollcsoportban ($N = 18$)

Forrás: a szerzők szerkesztése



16. ábra: Helyes ütések száma a mért ($N = 35$) és a kontrollcsoportban ($N = 18$)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A párosított t-próba eredményei tehát a fentiek alapján egyértelműen bizonyítják, hogy a teljesítmény mindhárom nehézségi szinten szignifikánsan javult a két mérési időpont között, a fejlesztési program az eltérő nehézségű feladatok esetében kivétel nélkül hatékonyan növelte az eredményeket. A rendkívül alacsony p-értékek kizárják annak lehetőségét, hogy a változás pusztán a véletlen hatásának tudható be.

A kontrollcsoport esetében a vizsgált csoporttal ellentétben egyik feladatnál sem figyelhető meg statisztikailag szignifikáns változás a két mérési időpont között. A p-értékek (például 0,477 a könnyű, 0,385 a közepes és 0,088 a nehéz feladat esetében) mind meghaladják a 0,05-ös szignifikanciaszintet, ami arra utal, hogy a teljesítmény változása nem tekinthető megbízhatóan kimutatható javulásnak, hanem könnyen lehet a véletlen műve. A könnyű és a közepes nehézségű feladatoknál az átlagos teljesítmény enyhe növekedése ellenére a variancia alig változott, ami arra utal, hogy a résztvevők teljesítménye nem stabilizálódott jobban a második mérésre. Ez arra enged következtetni, hogy a kontrollcsoport tagjai nem mutattak egyértelmű fejlődést, vagy ha volt is előrelépés, az nem volt egységes a csoporton belül. A nehéz feladatnál ugyan az átlagos teljesítmény nagyobb mértékben növekedett, azonban a variancia jelentős maradt, és a p-érték sem érte el a szignifikanciahatárt. Ez azt jelenti, hogy az egyéni teljesítmények közötti különbségek továbbra is nagyok maradtak, és a fejlődés itt sem bizonyult statisztikailag igazolhatónak. Összességében a kontrollcsoport adatai alapján nem állapítható meg egyértelmű fejlődés. Mivel a különbségek nem szignifikánsak, feltételezhető, hogy a teljesítményben bekövetkezett változások inkább a véletlen ingadozásoknak, semmint tényleges fejlődésnek köszönhetőek.

Megbeszélés, értekezés, értelmezés

A reakcióidő változásának értékelése

A fejlesztőprogram hatékonyságát a járművezetők reakcióidejének *változása alapján* vizsgáltunk. Az adatok azt mutatják, hogy a résztvevők reakcióideje minden szolgálati helyen jelentős mértékben csökkent a tréning után. A kutatás eredményeinek elemzése során a legnagyobb csökkenés ott volt tapasztalható, ahol a kiindulási értékek magasabbak voltak, míg a kisebb induló reakcióidőkkel rendelkező csoportoknál a csökkenés mértéke visszafogottabb volt. Ebből arra következtethetünk, hogy a program különösen azok számára lehet előnyös, akik kezdetben lassabb reakcióidővel rendelkeznek. A kontrollcsoport eredményeivel szemben azonban a fejlesztett csoport reakcióidő-javulása vitathatatlan.

A fejlesztés hatása egyértelműen pozitív, ami azt sugallja, hogy a tréning segíti a vezetők gyorsabb döntéshozatalát és a járműirányítási képességeik fejlődését. A javulás minden esetben következetes volt, ami alátámasztja a hipotézist, miszerint a fejlesztőprogram valóban hatékonyan csökkenti a reakcióidőt.

A kontrollcsoport reakcióideje a második mérés során jelentősen csökkent annak ellenére, hogy nem vettek részt a fejlesztőprogramban. Azonban előfordult, hogy hosszabb volt a reakcióidő a második mérés esetében. Összességében azonban elmondható, hogy az átlagos reakcióidő csökkent az első méréshez képest, így függetlenül az imént említett esettől ez nem véletlenszerű ingadozásnak tűnik.

Fontos azonban megjegyezni, hogy mivel ez egy kontrollcsoport, a változás háttérében nem áll fejlesztőprogram vagy speciális beavatkozás. A reakcióidő változását tehát külső tényezők, például a mérési körülmények, az, hogy második alkalomra már nem volt számukra ismeretlen a feladat vagy más egyéni változók is okozhatták. Az is jól látható, hogy a fejlesztőprogram résztvevői esetében jóval nagyobb mértékben csökkent a reakcióidő, mint a kontrollcsoport tagjainál. Ráadásul az utóbbiak esetében a második és a harmadik feladat kapcsán előfordult, hogy hosszabb reakcióidőt merhettük a kiindulási értékekhez képest, ami a fejlesztett csoport esetében egyetlen alkalommal sem volt tapasztalható. Ez pedig egyértelműen a fejlesztőprogram kívánt hatásának beteljesülését támasztja alá. A kontrollcsoport reakcióidőit szemléltető diagramok is egyértelműen mutatják a különbséget a fejlesztőprogramban részt vettek javára.

Amennyiben nullhipotézisünkben azt állítunk, hogy „Nincs szignifikáns különbség a fejlesztőprogramban részt vevő csoport és a kontrollcsoport reakcióideje között”, akkor a független párosított t-próba eredménye $-0,41$, így el kell utasítanunk ezt a felvetést, és megállapíthatjuk, hogy igenis szignifikáns különbség van a két csoport teljesítménye között.

A három szolgálati hely különbségeinek értékelése

Az egyes szolgálati helyek mért eredményei között nem lehet számottevő különbséget tapasztalni. A fejlesztőprogramban való részvételt követően minden szolgálati helyen szignifikáns csökkenés volt tapasztalható.

Az életkor szerinti változások értékelése

A legfiatalabbak estében az életkori sajátosságoknak megfelelően némileg rövidebb volt a fejlesztés előtti reakcióidő, ami az életkor előrehaladtával elhanyagolható mértékben ugyan, de növekedett.

Az eredmények azt mutatják, hogy a tréning hatására minden életkori csoportban csökkent a reakcióidő, azonban a javulás mértéke eltérő volt. A legnagyobb átlagos javulást a középkorú csoport (101,6 ms) érte el, míg az idősebb járművezetők (100,8 ms) és a fiatalok (86,9 ms) valamivel kisebb mértékben fejlődtek.

Azonban a legidősebb korosztály átlagos reakcióideje a fejlesztőprogram elvégzését követően rövidebb lett, mint a legfiatalabbaké a fejlesztés előtt. Így kétség sem fér a program hasznosságához.

Bár az adatok azt sugallják, hogy az életkor bizonyos mértékben befolyásolhatja a tréning hatékonyságát, a különbségek nem extrém mértékűek, és nincs statisztikailag szignifikáns különbség a három korcsoport reakcióidő-javulása között.

A szolgálati csoport szerinti változások értékelése

Arra a kérdésre is szerettünk volna választ kapni, hogy a fejlesztőprogram hatékonysága eltér-e a különböző szolgálati csoportok – mentő, tűzoltó, valamint mentő- és tűzoltó gépjárművezetők – között.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy bár a fejlesztőprogram minden csoportban szignifikánsan csökkentette a reakcióidőket, a különböző szolgálati csoportok között eltérő mértékű javulás figyelhető meg. Az első és a második feladat esetében a mentők értek el nagyobb javulást, míg a harmadik feladatnál a mentő/tűzoltó gépjárművezetők mutatták a legnagyobb fejlődést.

Az eredmények tehát nem igazolják teljesen azt a hipotézist, miszerint a fejlesztőprogram hatékonysága nem mutat semmilyen különbséget az egyes szolgálati csoportok között, viszont az kijelenthető, hogy a hatása hasonló mértékű volt minden csoportban, azaz a szolgálati csoport típusa nem befolyásolta érdemben a javulás mértékét, és minden csoport esetében eredményes volt.

A különböző szolgálati csoportok összehasonlításai és elemzésének eredményei fontosak lehetnek esetleges jövőbeli képzési programok kialakításában, hiszen segítenek az egyes szolgálati csoportoknak testreszabott tréningeket fejleszteni a hatékonyabb reakcióidő-csökkentés érdekében.

A különböző nehézségű feladatok értékelése a reakcióidő szempontjából

A reakcióidő-javulás mértéke a különböző nehézségű feladatoknál a résztvevők időeredményeinek átlagában más-más mértékű volt a fejlesztett csoport esetében. Ugyanez azonban a kontrollcsoport esetében nem volt tapasztalható. Az adatokból megfigyelhető, hogy a feladatok nehézségének növekedésével a javulás mértéke is nő, ami azt sugallja, hogy

a résztvevők nagyobb fejlődést értek el a komplexebb feladatok esetében. A komplexebb feladatok nagyobb kognitív kihívást jelentenek, és így nagyobb fejlődést tesznek lehetővé a reakcióidő csökkentésében.

A kontrollcsoport esetében ezzel szemben a reakcióidő-javulás mértéke nem mutatott hasonló trendet: a könnyű feladatoknál 31 ms, a közepes feladatoknál 28 ms, a nehéz feladatoknál pedig 37 ms volt a javulás. Ez azt sugallja, hogy a kontrollcsoport tagjainál nem figyelhető meg szisztematikus változás a feladatok nehézségének növekedésével.

A kapott eredmények tehát azt mutatják, hogy a fejlesztőprogrammal támogatott csoportnál a reakcióidő-javulás mértéke a különböző nehézségű feladatok során következetes maradt, és a nehézségi szint növekedésével tovább fokozódott. Így a fejlesztőprogram hatása nem csupán a könnyebb feladatoknál érvényesül, hanem a növekvő nehézségű környezetben is hasonló trend mentén mutat javulást. A fejlesztés nem csupán a könnyebb feladatok esetében segítette a reakcióidő csökkenését, hanem a komplexebb helyzetekben is hatékony maradt. Ez azt sugallja, hogy nemcsak az alapvető reakcióidő fejlesztésében, hanem a bonyolultabb döntési helyzetek kezelésében is előnyös lehet.

Helyes és hibás érintések értékelése

A hibás érintések számának csökkenése a legkönnyebb feladat esetében még nem volt szembetűnő. A közepes nehézségű feladat esetében azonban már érezhető különbség volt a kutatásban résztvevők eredményeinek átlagát vizsgálva. Az igazi eredmény azonban a nehéz feladat során bontakozott ki.

A kontrollcsoport eredményeivel összehasonlítva a vizsgált csoport eredményeit azt láthatjuk, hogy az első feladatban a fókuszcsoport tagjai a fejlesztést követően enyhe javulást mutattak a rossz érintések számában, míg a nehéz feladat esetén ez az érték jelentősen megnőtt. A kontrollcsoport esetében ilyen változás egyáltalán nem volt tapasztalható a kutatási eredmények elemzésének tükrében. Ez a megállapítás tovább erősíti azt az elképzelést, hogy a tréning elősegíti a megfelelő döntéshozatalt és a feladatok gyorsabb végrehajtását.

A pontos érintések száma szintén nagyobb mértékben nőtt a fókuszcsoportban, mint a kontrollcsoportban, ami azt mutatja, hogy a résztvevők nem csupán gyorsabbak, hanem precízebbek is lettek. A nehezebb feladatok során a fejlesztett csoport esetén a feladatok nehezedésével nőtt a javulás mértéke is. A kontrollcsoport esetében is tapasztalható volt némi javulás a feladatok megismétlése során, de ennek mértéke elmaradt a fejlesztett csoporttól. Az eredmények javulása sokkal inkább a feladat során szerzett rutinnak köszönhető, ellentétben a másik csoport esetével.

Összegzésként elmondható, hogy a tréningprogram hatékonysága egyértelműen igazolható a három feladat eredményei alapján. A fókuszcsoport tagjai minden esetben nagyobb mértékben fejlődtek, mint a kontrollcsoport tagjai, ami arra utal, hogy a program nem csupán az alapvető készségeket fejleszti, hanem a pontos és gyors döntéshozatalban is jelentős szerepet játszik. Különösen a komplexebb feladatok esetében figyelhető meg a program hatása, hiszen a kontrollcsoport teljesítménye ezeknél a feladatoknál alig változott, míg a fókuszcsoport tagjai látványosan javították eredményeiket. Ennek fényében a tréning bevezetése és további

fejlesztése mindenképpen indokolt lehet, különösen olyan járművezetői környezetben, ahol a gyors reakciók és a pontos döntések elengedhetetlenek a biztonságos közlekedés érdekében.

Következtetések és javaslatok

A vizsgálat eredményei igazolták, hogy a tréningprogram hatékonyan csökkenti a megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők reakcióidejét, ami minden szolgálati csoportnál megfigyelhető volt. Ugyanakkor a fejlesztés hatása eltérő mértékben jelentkezett a mentő gépkocsivezetők és tűzoltók körében. Ez azt jelzi, hogy a tréning hatékonyságát tovább növelheti egy személyre szabottabb képzési rendszer, amely figyelembe veszi az egyes szolgálati csoportok sajátos munkaköreit és döntéshozatali folyamatait.

A fejlesztés következő lépéseként javasolt egy tréningprogram más, gyors reakciókészséget igénylő csoportokra, például a rendőrség, a katonaság vagy a veszélyes árut szállító gépjárművezetők számára.

A fejlesztési lehetőségek között érdemes még megemlíteni egy tréningprogram beépítését a járművezetők rendszeres továbbképzési folyamatába, például a PÁV1 vizsgálat előtt vagy a vizsgálaton sikertelen eredményt elért járművezetők körében.

A kutatás eredményei arra is rámutattak, hogy a tréningprogram nemcsak az egyéni reakcióidőt javítja, hanem hozzájárulhat a szervezeti szintű működés hatékonyságának növeléséhez is. A gyorsabb és pontosabb döntéshozatal a sürgősségi szituációkban csökkentheti a hibázási lehetőségeket, ezáltal javíthatja az ellátás minőségét és a szolgálati feladatok teljesítését.

A fejlesztett csoport egyéni reakcióidő-fejlődése az első feladat során átlagosan 28%, a másodikban 35%, a harmadikban 42%-kal csökkent az első méréshez képest ($p = 0,001$). A kontrollcsoport az első és a második feladat során 8%-os, a harmadik feladat során 7%-os fejlődést mutatott. A fejlesztett csoport reakcióideje mindhárom feladatban szignifikánsan jobban csökkent, mint a kontrollcsoporté ($p = 0,001$). Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a fejlesztőprogrammal a reakcióidő csökkenthető. Ennek a gyakorlati haszna a közúti közlekedés biztonságosabbá tétele a féktávolság csökkentése által: átlagos reakcióidővel számolva ($0,6s$), 35%-os javulást elérve (amely a TJV025 járművezető fejlődési paramétere), induló 90 km/h sebességet feltételezve, vészfékezés esetén a féktávolság több, mint 5 m -rel csökkenhet ($0,6s \times 0,35 \times 25 \text{ m/s} = 5,25 \text{ m}$).

Így a fejlesztőprogrammal a tűzoltó- és mentőállomány munkája biztonságosabbá tehető.

A módszer alkalmazhatóságának korlátai

A szerzők a kutatás végrehajtása során több olyan tényezőt is azonosítottak, amelyek befolyásolhatták az eredmények érvényességét és általánosíthatóságát. A vizsgálatban részt vevő 35 fős fejlesztett és 18 fős kontrollcsoport viszonylag korlátozott elemszámú, így az eredmények nem biztos, hogy reprezentatívak a megkülönböztető jelzést használó járművezetők teljes populációjára nézve. Emellett a résztvevők eltérő munkakörnyezetben és stresszhelyzetekben dolgoznak, ami befolyásolhatta a tréningre adott reakciójukat. Bár az eredmények minden csoport esetében pozitívak voltak, a fejlődés mértéke eltérhetett

az egyéni munkaköri sajátosságok miatt. Szintén esetleges befolyásoló tényezőnek tekinthető, hogy a mérések időpontjai eltérő órákban voltak a szolgálatban lévő egyének napjaiban: nem várhatunk hasonló reakcióidőt egy 24 órás műszak elején és végén.

További fontos szempont a fejlesztőprogram időtartama, mivel a vizsgálat elsősorban a tréning rövid távú hatásait mérte. A hosszú távú eredmények, például a reakcióidő-javulás tartóssága vagy a gyakorlati helyzetekben való alkalmazhatósága, nem képezték az elemzés tárgyát. Emellett a külső tényezők, mint a résztvevők aktuális mentális és fizikai állapota, stressz-szintje vagy a környezeti hatások szintén befolyásolhatták az eredményeket.

A tesztfeladatok és a valós közlekedési helyzetek eltérése is releváns tényező. Bár a feladatok célzottan a reakcióidő fejlesztésére irányultak, a valódi vészhelyzeti szituációk komplexitása és dinamikája eltérhetett a szimulált körülmények között végzett mérésektől. Továbbá a kutatás csak a humán reakciókészséget veszi figyelembe. Azonban a közúti közlekedés során a reakcióidő nemcsak a humán paraméterektől, hanem a jármű mechanikai és műszaki késleltetésétől is függhet.

A jövőbeli kutatások során érdemes lehet ezeket a tényezőket is figyelembe venni, például nagyobb és változatosabb mintával dolgozni, ennél hosszabb távú utánkövetést végezni, illetve a tréningprogramot még jobban adaptálni a valós közlekedési helyzetekhez.

Összegzés

A kutatásunk célja a megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők reakcióidejének fejlesztésére szolgáló tréningprogram hatékonyságának vizsgálata volt. Az adatgyűjtés során a résztvevők teljesítményét különböző feladatokkal mértük, amelyeket elektronikus táblázatokban és a BlazePod-alkalmazásban rögzítettünk. A szerzők az eredmények kiértékeléséhez statisztikai módszereket: párosított t-próbát és egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztak. Az eredmények egyértelműen igazolták, hogy a tréningprogram jelentősen csökkentette a résztvevők reakcióidejét. A fejlesztőprogramban részt vevők esetében minden vizsgált szolgálati helyen szignifikáns csökkenést tapasztaltunk, ami statisztikai értelemben is alátámasztja a program hatékonyságát.

A legnagyobb javulást azoknál a résztvevőknél figyeltem meg, akik kezdetben hosszabb reakcióidővel rendelkeztek. A kontrollcsoport esetében is kimutatható volt némi változás, azonban annak mértéke jelentősen elmaradt a tréningen részt vevő csoport eredményeitől.

Az életkor szerinti vizsgálat rámutatott, hogy a középkorú csoport érte el a legnagyobb átlagos reakcióidő-javulást, míg az idősebb és a fiatalabb résztvevők esetében ez valamivel alacsonyabb volt. Bár az életkor bizonyos mértékben befolyásolta a tréning hatékonyságát, a különbségek nem voltak statisztikailag szignifikánsak. A különböző szolgálati csoportok eredményeinek elemzése során azt állapítottunk meg, hogy a mentő gépkocsivezetők mutatták a legnagyobb reakcióidő-csökkenést az első és a második feladatban, míg a legösszetettebb, harmadik feladat esetében a mentő-tűzoltó járművezetők fejlődtek a legnagyobb mértékben.

Az eredmények azonban nem mutattak statisztikailag szignifikáns különbséget a szolgálati csoportok teljesítménye között, ami arra utal, hogy a fejlesztőprogram minden csoportban egyaránt hatékonyan bizonyult. A különböző nehézségű feladatok elemzése szintén

megerősítette a tréningprogram hatékonyságát. A reakcióidő-csökkenés mértéke a feladat komplexitásának növekedésével párhuzamosan nőtt, amit az egytényezős varianciaanalízis eredményei is alátámasztottak. Ez arra utal, hogy a tréning nem csupán az alapvető reflexek gyorsításában, hanem a bonyolultabb helyzetek kezelésében is pozitív hatást gyakorol.

Felhasznált irodalom

- BEREK Tamás – FÖLDI László – PADÁNYI József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS Academic and Applied Research in Military Science*, 19(1), 17–26. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- COTA, Željko – KONTIĆ, Dean – KONTIĆ, Bruno (2022): Reliability and Validity of a New Agility Test and Skill for Young Water polo Players. In ULJEVIĆ, Ognjen – PERIĆ, Mia – PIVALICA, Dinko (szerk.): *The proceedings book of 1st International Conference on Science and Medicine in Aquatic Sports: Split, Croatia, 1st–4th September 2022*. Split: University of Split Faculty of Kinesiology, 137–141.
- COUTINHO, Diogo et al. (2018): The Effects of an Enrichment Training Program for Youth Football Attackers. *PLoS One*, 13(6). Online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199008>
- KONDÁS Orsolya Ildikó – KUN Ágota – HÉRINCS Magdolna (2016): Stressz a megkülönböztetett jelzésű gépjármű volánjánál. *Alkalmazott Pszichológia*, 16(1), 7–27. Online: <https://doi.org/10.17627/ALKPSZICH.2016.1.7>
- KOVÁCS Zoltán Tibor – EMBER István (2023): A közszolgálati tűzszervezet aktuális kihívásai. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Húsz év a katonai műszaki tudományok szolgálatában. A katonai műszaki tudományok tudományág időszerű kérdései, aktuális tudományos kutatási eredményei: Oktatói kötet*. Budapest: Ludovika, 185–202. Online: <https://openaccess.ludovika.hu/nke/catalog/download/38/373/932?inline=1>
- VASS Gyula et al. (2024): A katasztrófavédelmi kutatások eredményei és fejlesztése a rendszertudomány rendszerében. *Belügyi Szemle*, 72(5), 815–833. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ-AJIA.2024.v72.i5.815-833>

Jogi forrás

444/2017. (XII. 27.) Korm. rendelet a közúti járművezetők pályalkalmassági vizsgálatáról

Pap Andrea,¹  Vég Róbert László² 

Térszemlélet fejlesztése a katonai logisztikában 3D-nyomtatás és számítógéppel támogatott műszaki modellezés (CAD) által – 1. rész

Developing Spatial Awareness in Military Logistics Through 3D Printing and Computer-Aided Design (CAD) – Part 1

A cikk a 3D-nyomtatás, a számítógéppel támogatott tervezés (CAD) szoftvereinek és a térszemlélet fejlesztésének kapcsolódási pontjait vizsgálja a modern oktatásban és szakmai gyakorlatban. Rávilágít arra, hogy a CAD és a 3D-nyomtatás innovatív eszközök lehetnek a hallgatók térbeli képességeinek fejlesztésében, különösen a prototípusok gyors és valósághű modellezése révén. A térszemlélet hiánya a középiskolás és a felsőoktatási hallgatók körében komoly problémát jelent, mivel ez alapvető a mérnöki, építészeti, geográfiai és katonai szakmákban, továbbá hozzájárul a problémamegoldó képességek és a kreativitás fejlesztéséhez. A cikk bemutatja, hogy a digitális technológiák – mint a virtuális valóság és interaktív 3D-modellezés – hatékonyan támogatják a térbeli látás és megértés kialakítását, és segítenek a komplex térbeli viszonyok megértésében. Emellett hangsúlyozza a megfelelő mérési módszerek jelentőségét a térszemlélet fejlesztésében, beleértve a különböző tesztek és virtuális feladatokat. A tanulmány szerint a fejlett téri képességek nemcsak az oktatásban, hanem a munkaerőpiacon is kulcsfontosságúak, különösen a STEM-területeken, ahol az innováció és a fenntarthatóság alapkövei ezeknek a képességeknek. Összességében a cikk indokoltnak tartja, hogy a térszemlélet fejlesztése kiemelt téma legyen a modern oktatásban, a technológiai fejlődés támogatásával, hozzájárulva a jövő szakembereinek képzéséhez és a fenntartható, innovatív megoldások kialakításához.

Kulcsszavak: *térlátás, térszemlélet, 3D-nyomtatás, digitális modellezés*

¹ Intézetvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszerológai Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Logisztikai Intézet, e-mail: pap.andrea@uni-nke.hu

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszerológai Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

The article examines the connections between 3D printing, computer-aided design (CAD) software, and the development of spatial awareness in modern education and professional practice. It highlights how CAD and 3D printing can be innovative tools for developing students' spatial skills, particularly through rapid and realistic prototyping. The lack of spatial awareness among secondary school and higher education students is a serious problem, as it is fundamental to engineering, architecture, geography, and military professions, and contributes to the development of problem-solving skills and creativity. The article demonstrates that digital technologies such as virtual reality and interactive 3D modeling effectively support the development of spatial vision and understanding, and help in comprehending complex spatial relationships. It also emphasises the importance of appropriate measurement methods in developing spatial awareness, including various tests and virtual tasks. According to the study, advanced spatial skills are key not only in education but also in the labour market, especially in STEM fields, where innovation and sustainability are the cornerstones of these skills. Overall, the article argues that spatial thinking should be a priority in modern education, supported by technological developments, contributing to the training of future professionals and the development of sustainable, innovative solutions.

Keywords: *spatial awareness, spatial perspective, 3D printing, digital modeling*

Bevezetés

A 3D-nyomtatás és a számítógép által támogatott tervezés (*computer aided design, CAD*) szoftverei folyamatosan fejlődnek, ami lehetővé teszi a komplexebb és precízebb modellezést, valamint a gyártást. Ezzel a technológiával könnyen és gyorsan lehet prototípusokat készíteni, ami felgyorsítja a termékfejlesztési folyamatokat.³ A hallgatóknak és a fiatal mérnököknek elengedhetetlen a térsemlélet fejlesztése ahhoz, hogy a modern iparban is helyt tudjanak állni. A CAD- és a 3D-nyomtatás révén a hallgatók valóság-hű modellek létrehozásával tanulhatják meg a tervezést és a kivitelezést. A térsemlélet fejlesztése nemcsak a mérnöki területeken fontos, hanem a művészetek, a design és a tudományok számos ágában is, valamint a katonai területeken. Ezek az eszközök elősegítik, hogy a különböző területek között hatékony legyen az együttműködés. Erre kiváló példa a robbantástechnika, ahol már előremutató hazai eredmények születtek ilyen fúzióból. A CAD-szoftverek egyszerű lehetőséget nyújtanak a speciális alkatrészek megtervezéséhez,⁴ a 3D-nyomtatás pedig a gyakorlatban is hatékony töltetalkatrészek készítésére is alkalmas technológia.⁵ A 3D-nyomtatás lehetőséget ad az anyagok hatékonyabb felhasználására, ezáltal csökkenti a hulladékot és a környezeti terhelést. A térsemlélet fejlesztése hozzájárulhat a fenntartható tervezési megoldások kereséséhez. A 3D-modellezés és nyomtatás új tervezési lehetőségeket és kreatív megoldásokat kínál, amelyek innovációt generálhatnak az ipar különböző területein.⁶ A modern gazdaságban egyre növekvő az igény a gyors és hatékony tervezési folyamatokra. A 3D-nyomtatás és CAD

³ GYARMATI 2023: 51–52.

⁴ EMBER 2023: 32.

⁵ EMBER 2022: 22–23.

⁶ HEGEDŰS et al. 2024: 141–154.

segíti a cégeket abban, hogy lépést tartsanak a piaci trendekkel és a felhasználói igényekkel. Ezek a tényezők összességében indokolják, hogy a térsemlélet fejlesztése a 3D-nyomtatás és a CAD által napjaink egyik fontos és aktuális témája legyen.

A gépészszakmákban feltétlenül fontos a térbeli formák, a méretek és alkatrészek egymással való kapcsolódásának vizuális elképzelése, a térsemlélet segít a tervek elkészítésében, a problémák felismerésében és megoldásában, továbbá a hatékony kommunikációban más szakemberekkel. A katonai logisztikai tantárgyak oktatóiként a mindennapi tevékenységek során látjuk a térsemlélet szükségességét, és sajnos nagyfokú hiányát is, ami problémát jelent a hallgatók számára tanulmányaik során, főként, ha nem szakirányú középiskolából érkeznek, hanem – mint ahogy a nagy többség – gimnáziumból. Kutatások támasztják alá, hogy a felsőoktatásba belépő hallgatók térsemlélete gyenge és egyénekenként eltérő mértékű. A térsemlélet ebben a korban is javítható, fejleszthető, de a rövid képzés miatt a hiányosságok nem pótolhatók teljes mértékben, ezért is fontos, hogy középiskolában megfelelő szintű térsemléletet alakítsunk ki.⁷ Az oktatástechnológia fejlődése szoros összefüggésben van a technológiai előrehaladással. A digitális technológia, az internet, a virtuális valóság és az új médiumok mellett a 3D-nyomtatás megjelenése megváltoztatta az oktatási módszereket és az oktatástechnikai eszközöket, amelyek lehetőséget adnak arra, hogy a hallgatók interaktív módon ismerkedjenek meg az adott tananyaggal, a fogalmakkal és az elméletekkel.⁸ A kézzelfogható tárgyakká való alakítás nem csupán a tanulási élményt növeli, hanem segíti a hallgatókat abban, hogy mélyebben megértsenek egy-egy bonyolult összefüggést.

A térlátás és a térsemlélet

A térlátás és a térsemlélet kifejezések a térbeli észlelés, valamint a térbeli gondolkodás képességeire utalnak, amelyek kulcsszerepet játszanak a környezettel való interakcióban és a problémamegoldásban. A két fogalom szoros összefüggésben áll, a jó térlátás elősegíti a hatékony térsemléletet, míg a fejlett térsemlélet javíthatja a térlátást. Az oktatás és a térbeli készségek fejlesztését célzó játékok hozzájárulhatnak ezen képességek fejlesztéséhez, amelyek számos területen, például a matematikában, a tudományokban és a művészetekben is előnyösek lehetnek. A téri gondolkodás részét képezi a geometriai fogalomalkotás, az a kognitív folyamat, amely által a tanulók hatékonyabban tudják az információkat megszerezni és kezelni, megérteni környezetüket és kommunikálni másokkal.⁹

A felsőoktatásban részt vevő hallgatók térsemléletének elemzéséhez elengedhetetlen, hogy megvizsgáljuk a középiskolások térsemléletét, mert csak erre építkezve tudunk következtetések levonni.

A középiskolás korosztály jellemzői, a kognitív fejlődés és a társadalmi környezet mind hatással vannak arra, hogyan élük meg és értelmezik a teret a diákok. A térsemlélet lehetővé teszi számukra, hogy orientálódjanak a fizikai világban, valamint, hogy kapcsolatokat

⁷ KOVÁCS–NÉMETH 2014: 18–29; SORBY–VEURINK–STREINER 2018: 209–222.

⁸ KOVÁCS 2022; Kovács 2023.

⁹ MEZŐ 2022: 43–55.

teremtsenek a helyek, emberek és jelenségek között. Ezen képesség fejlesztése különösen fontos a középiskolás generáció számára, mivel ez az időszak kulcsszerepet játszik a fiatalok identitásának és világnézetének kialakításában. A középiskolás kor a hagyományos pszichológiai fejlődési modell szerint a formális műveletek szakasza, amely lehetővé teszi az elvont gondolkodást és az absztrakt fogalmak használatát. A diákok térszemléletét nemcsak kognitív, hanem társadalmi és kulturális hatások is formálják. A média, a közösségi platformok, a családi háttér és az iskolai környezet is mind hozzájárulnak a világnézetük kialakulásához. Az oktatási intézmények szerepe elengedhetetlen a térszemlélet fejlesztésében, például a földrajz tanítása nem csupán a térképvasárlásról vagy a helyszínek elhelyezéséről szól, hanem a problémák és kihívások, valamint azok megoldási lehetőségeinek feltérképezéséről is. A földrajz tantárgynál a középiskolások képesek a térkép- és műholdas képek értelmezésére, azonban a térbeli orientációs készségeik változóak. Néhány diák kifejezetten tehetséges a tájékozódásban és a távolságok, valamint irányok meghatározásában, míg mások nehezen boldogulnak a térképi információkkal. A diákok ábrázolóképesége nem lineárisan fejlődik, hanem különböző hatások által dinamikusan változik, az előző fejlődési szakaszait tapasztalatait megőrizve és újra felhasználva válik egyre differenciáltabbá. A 18–23 éves korosztályban (vagyis a jelenleg nálunk tanuló honvédtisztjelöltek esetében is) a térszemlélet csak lassú ütemben és nehezen fejleszthető, ezért fontos, hogy ez megtörténjen minél korábban az általános és középiskolában.¹⁰ A középiskolások térszemlélete erősen kötődik a személyes tapasztalataikhoz. A nem megfelelő térszemlélet a diákok tanulmányai során és később a gyakorlati életben is sok problémát és félreértést okozhat. A középiskolások térszemlélete kulcsfontosságú szerepet játszik a jövőbeli társadalmi és környezeti problémák kezelésében is, ezért az oktatásnak céltotán kell foglalkoznia ezen képességek fejlesztésével.

A térszemlélet különböző szakmákban való alkalmazása elengedhetetlen a hatékony döntéshozatalhoz és a problémák megoldásához, és nem csupán a fizikai tér és a térbeli elrendezések megértését jelenti, hanem magában foglalja a különböző jelenségek, kapcsolatok és folyamatok térbeli aspektusainak értelmezését is. A munkaerőpiaci igények napjainkban jelentős átalakuláson mentek keresztül, új foglalkozások jöttek létre, főleg a technológia alkalmazásához, fejlesztéséhez és karbantartásához kapcsolódóan, amihez az oktatásnak minél jobban és minél hamarabb illeszkednie kell, mert cél a megfelelő munkaerő biztosítása, a versenyképesség és a fenntarthatóság, mindezekben pedig jelentős szerepet játszanak a téri képességek is.¹¹ Kutatások bizonyítják, hogy a térszemlélet szoros kapcsolatot mutat a természettudomány, a technológia, a mérnöktudomány és a matematikai (*science, technology, engineering and mathematics, STEM*) készségek, illetve az általános problémamegoldó képesség fejlődésével.¹²

A gépészsakmák folyamatosan fejlődnek és számos ágazathoz és iparághoz kapcsolódnak. A gépészek feladatai közé tartozik a tervezés, a gyártás, a karbantartás és a gépek vagy rendszerek működtetése. A gépészeti tervezés során a szakemberek különféle alkatrészeket

¹⁰ BÍRÓ 2019: 329–355; BABÁLY–KÁRPÁTI 2015: 127–137.

¹¹ KARL–MOLNÁR 2021.

¹² NAGYNÉ 2018: 383–387; BUCKLEY–SEERY–CANTY 2018: 947–972; LAVICZA et al. 2018: 110–122.

és rendszereket hoznak létre. A térsemlélet segítségével figyelembe tudják venni a méreteket, arányokat, míg a CAD-szoftverek alkalmazása lehetővé teszi számukra a térbeli formák elképzelését. A térsemlélet hozzájárul, hogy jól értsék a méretjelöléseket, a nézeteket, hogy a tervezett tárgyakat különböző szögekből lássák, és ezáltal pontosabb rajzokat készítsenek. A rendszerek megértéséhez az összes alkotóelemet figyelembe kell venni, ez különösen fontos a gépgyártásban, ahol a különböző gépek és alkatrészek összehangolt működése elengedhetetlen. A gépészetben gyakran lehet találkozni bonyolult problémákkal, amelyek megoldása kreativitást igényel, ebben segít a térsemlélet, hogy átláthassák a problémát, és hogy több lehetséges megoldás közül választhassanak. A mindennapi gépészeti munka része a mérés, az adatelemzés, a becslés, viszont középiskolában kevés hangsúlyt helyeznek a közelítő számításokra, az analitikus megközelítés kizárólagossága, a pontos érték meghatározása nem formálja kellőképpen a problémamegoldáshoz szükséges szemléletmódot.¹³ A gépészművekben gyakran együtt kell dolgozni különböző szakterületen levő más szakemberekkel, és a képesség, hogy a térbeli formákat és rendszereket jól kommunikáljuk, elengedhetetlen a közös projektek sikeres megvalósításához.

A geográfusok munkájuk során elemzik a földrajzi jelenségek térbeli eloszlását, kapcsolatát és dinamikáját. A geográfiai térsemlélet által fel tudják mérni a természeti erőforrásokat, a víz, az ásványkincsek vagy a mezőgazdasági területek hatékony kihasználását. A téri képesség segít a lemeztektonika, valamint a geoinformációs rendszerek megértésében.¹⁴

Az építészet, az építkezések mind térbeli gondolkodást igénylő munkák, ahol az épületek elhelyezése és a tájhoz illeszkedés meghatározza az ingatlan értékét és a környezeti hatásokat. Az építésznek figyelembe kell venniük az épületeken belüli terek funkcionális használatát, a napi használat során fellépő mozgásokat és a felhasználói igényeket. Térbeli gondolkodást igényel a környezet védelme, az erőforrások hatékony felhasználása, különösen az anyagok eloszlásának és az energiatakarékos megoldásoknak a megtervezése során.

A közlekedés területén a térbeli elhelyezkedésnek és a forgalmi igények figyelembevételének elengedhetetlen jelentősége van az úthálózatok kiépítésénél és karbantartásánál. Az alternatív közlekedési módok (kerékpározás, gyaloglás) elősegítése érdekében fontos a városi terek tervezése és azok funkcionális kapcsolata. A tömegközlekedési rendszerek hatékony működtetése érdekében figyelembe kell venni az utazási mintázatokat és a népsűrűséget, ami szintén térsemléletet igényel.

Számos szakmánál jó segítséget nyújt a térsemlélet, például műtét során a műtési terület előzetes elképzelésénél, a logisztikai folyamatok (katonai logisztikai) megtervezésénél, ingatlanfejlesztőknél, akik jó térképészettel az ingatlan el tudják képzelni a tervek alapján.¹⁵

A katonai logisztika alapvető szerepet játszik a hadműveletek sikerében, mivel biztosítja a szükséges erőforrásokat a csapatok számára. A műveleti támogatási lánc sikeres működtetésével érhető el ugyanis, hogy az anyagok, eszközök, valamint a személyek a megfelelő időben a megfelelő helyre, a megfelelő minőségben és mennyiségben érkezzenek meg

¹³ NAGYNÉ-SIPOS 2020: 364–369; SIPOS 2018: 76–83.

¹⁴ BÖLCSKEI et al. 2023: 116–132; SANCHEZ 2012: 58–65.

¹⁵ LOGAN 2012: 507–524; ZWARTJES et al. 2017.

a kijelölt célállomásokra.¹⁶ A rendszerben meghatározó szerepet tölt be a térszemlélet, mivel segít az erőforrások optimális elosztásában, különösen komplex környezetben, ahol a helyi viszonyok gyorsan változnak. Fontosnak tartjuk kiemelni, hogy a műveleti támogatási lánc eredményes működésében különböző tényezők lehetnek meghatározók, például a láncot érintő külső és belső információk, a gazdasági folyamatok vagy a katonai műveletek jellege.¹⁷ Ugyanakkor a térbeli információkra mindig figyelmet kell fordítani a láncok kiépítésekor és működtetésekor, mivel azok segítik a logisztikai lánc átláthatóságát és nyomon követhetőségét, ennek megfelelően az erőforrásokat pontosabban lehet felhasználni, amivel növelhető a rendszer hatékonysága is.

A modern technológiák (GPS, drónok, térinformatikai rendszerek) növelik a térszemlélet elvárt szintjét a katonai logisztikában. A térszemlélet hiánya vagy gyenge szintje komoly veszélyeket hordoz (rosszul tervezett logisztikai műveletek, időkésedelem), ezért elengedhetetlen a folyamatos fejlesztése, amely hosszú távon növeli a katonai műveletek sikerességét és biztonságát, lehetővé teszi a gyors reagálást a változó helyzetekre.

A különböző szakmák térszemlélet-szükségességének értékelésénél közös kapcsolódási pontként meg lehet állapítani, hogy a téri képességek fejlettsége előnyt jelent az azzal rendelkezőknek. Fontos a tanulóknak meglévő tudását minél szélesebb körben kiterjeszteni, hogy a problémamegoldás rutinfeladatnak számítson az oktatási folyamatban és az élet egyéb területein.¹⁸

A térlátás, térérzékelés, mélységérzékelés kifejezéseket a magyar nyelvben az embernél és az állatoknál rokon értelműként használjuk, viszont a térszemlélet, vizuális-téri képességek, téri intelligencia kifejezéseket kizárólag az embernél alkalmazzuk. A látás információkat ad a tárgyak alakjáról, méretéről és térben egymáshoz viszonyított helyzetéről, annak ellenére, hogy a szemnek mint látószervnek csak egy kétdimenziós, síkbeli felületi kép áll a rendelkezésére. A látás szerve érzékszerveink közül különösen fontos, mivel az emberek többsége a világot vizuálisan közelíti meg és értelmezi, a környezetünkből származó információk 60–80%-át a látás útján gyűjtjük be. A vizualitás jelentősége még jobban felértékelődik, mivel az információk átadásában a szövegeket egyre nagyobb mértékben vizuális tartalmak (képek, videók) váltják fel, és a fiatalok körében népszerű közösségi médiumok is egyre inkább képalapúak, ugyanakkor a geometriai vizualizáció sok esetben gondot okoz számukra.¹⁹

A való életben a környezetünkben található tárgyakat nézve könnyen meg tudjuk állapítani, hogy melyik van közelebb vagy távolabb. A mélység meghatározása történhet egy szemmel, vagy pedig pontosabban két szemmel. Az egy szemmel történő mélységérzékelést monoszkópius látásnak nevezzük, amelyhez monokuláris faktorokat használunk fel, amelyek lehetnek a tárgyak viszonylagos méretei (a közelebb lévő tárgy nagyobbak látszik), fény- és árnyékviszonyok, takarás (a közelebb lévő tárgy takarja a távolabb levőt), a tárgyak részletessége (a közelebb lévön több részletet ismerünk fel), akkomodáció (a szem a különböző távolságban lévő tárgyakra fókuszál, alkalmazkodik). A monoszkópius mélységbecslés bizonytalan, mivel

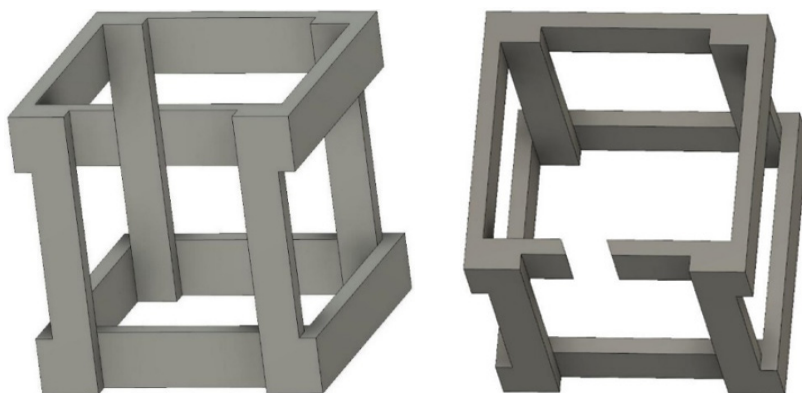
¹⁶ SZAJKÓ 2018: 105–112.

¹⁷ SZAJKÓ–FÁBOS 2020: 151–181.

¹⁸ PETZNÉ–CSISZÁR 2023: 133–147.

¹⁹ TÓTH et al. 2021: 83–95.

csak egy szemmel, egyetlen sugárnyalábbal nézünk, amely csak irányokat tud adni. A két szemmel történő mélységérzékelést szterioszkopikus (térbeli) látásnak nevezzük, amellyel nagyobb biztonsággal tudjuk megbecsülni a mélységeket. Természetes térhatású látásnak, vagyis térlátásnak nevezzük az emberi szem és az agy látási központjának azt a képességét, amellyel a figyelt tárgyak térbeli alakját és egymáshoz viszonyított térbeli helyzetét két képből meg tudja állapítani, amelyeket a jobb és a bal szemünk állít elő. Ezért a térlátásnak kettő alapfeltétele van, egyrészt a két szemmel látás, másrészt, hogy a két szem által alkotott két különböző képet az idegrendszer képes legyen egyetlen térhatású képpé egyesíteni.²⁰ A szemünk azonos magassága miatt a vízszintes irányú méreteket és távolságokat könnyebben tudjuk megbecsülni, mint a függőleges irányúakat. Két egyforma tárgy közül a magasabban lévő távolibbnak látjuk, emiatt ennek megfigyelésekor a térlátás prognosztikus, valószínűsíthető jellegű, ezért a megszokottól jelentős mértékben eltérő helyzetben a szem könnyen becsapható (1. ábra). A bal oldali képen egy lehetetlennek tűnő alakzatnak látszik, mivel egy lécekből összeállított tárgy első élének el kell takarnia a hátsó éleket, viszont a jobb oldali képen egyértelműen megvalósíthatóknak látszik a modell.



1. ábra: Megépíthető, de adott nézetből lehetetlennek látszó alakzat

Forrás: a szerzők szerkesztése

A térzsemlélet kizárólag az emberi jellemző, mivel az állatok nem képesek arra, hogy ugyanazon tárgyakat eltérő szituációkban azonosnak észleljenek. Tehát a térzsemlélet magában foglalja a látás pszichológiáját, a térbeli viszonyok gondolati visszatükröződését, az ábrázolásra, a rekonstrukcióra és a problémamegoldásra vonatkozó képességeket is. A térzsemlélet meghatározására egységesen elfogadott megközelítés nem létezik, fogalmára számos definíció található, kutatók vagy az értelmező szótár megfogalmazásában.²¹

²⁰ ENGLER 2008.

²¹ KATONA 2012.

A magyar nyelv értelmező szótára szerint a térsemlélet: „Az a lelki képesség, tulajdonság, amelynek birtokában az ember a tárgyakat alakjuknak, kiterjedésüknek, nagyságuknak, ill. egymáshoz való térbeli viszonyuknak (egymás melletti, fölötti, alatti, mögötti elhelyezkedésüknek) megfelelően érzékeli, ill. tudja egységes öszsképebe állítani.” A térsemlélet nem velünk született, hanem folyamatosan kifejlődő készség. A fény, a világosság erőssége módosítja térsemléletünket.²²

Tóth Péter a *Középiszkolai tanulók vizuális megismerőképességének fejlesztése I.* című cikkében az alábbiakban fogalmazza meg a térsemléletet: „Térsemlélet alatt azt a képességet értjük, amivel az egyén a különféle tárgyakat térbeli viszonyrendszerüknek megfelelően érzékeli, észleli.”²³

Séra László szerint a vizuális-téri képességek pedagógiai gyakorlatban meghonosodott neve a térsemlélet: „a térsemlélet olyan képesség- és jártasságrendszer, melyek birtokában az egyén alkalmassá válik téri-vizuális információk ábrázolására, téri objektumokra vonatkozó képi információk értelmezésére, formai és téri helyzetek, viszonyok felismerésére, megértésére, elképzelésére.”²⁴

Egyes meghatározások a téri képesség összetevőinek, mentális műveleteinek felsorolását tartalmazzák: „a tárgyak mentális elforgatását igénylő feladatok megoldása, az objektumok különböző nézőpontokból történő megjelenésének és a tárgyak egymáshoz való viszonyának megértése”,²⁵ „képesség, hogy mentálisan manipuláljuk, elforgassuk, elcsavarjuk vagy megfordítsuk a képileg bemutatott objektumokat”,²⁶ „a téri vizuális képességek lehetővé teszik a környezetben való tájékozódást, a különböző szögben elforgatott objektumok elképzelését, és a tárgyak elhelyezkedésére való emlékezést”.²⁷

Kárpáti Andrea és kutatócsoportja „a téri képességet a téri információ feldolgozásának általános képességeként, a téri ingerek kódolásával, felidézésével, összehasonlításával és átalakításával kapcsolatos, egymással összefüggő képességek soraként” fogalmazza meg.²⁸

Idegen nyelvű lexikonokban is hasonló meghatározásokat találunk a 'Spatial skills', 'Spatial thinkig', 'Spatial intelligence' kifejezések alatt. Mary Hegarty a vizuális intelligenciát alkalmazkodó téri gondolkodásnak nevezi.²⁹ A térsemléletre számos egyéb definíció létezik, de a közös bennük, hogy egy összetett, komplex tevékenységről beszélnek, amely összekapcsolja az észlelt, leképezett és az elképzelt világot, a leggyakrabban hivatkozott definíciók a mentális kép létrehozásának, tárolásának, visszakeresésének és átalakításának különféle aspektusait hangsúlyozzák.

A térsemléleten (téri-vizuális képesség) belül részképességek jelennek meg önálló faktorként, amelyek más részképességektől jól elkülöníthetők:

²² A magyar nyelv értelmező szótára 2016.

²³ TÓTH 2017: 2.

²⁴ SÉRA-KÁRPÁTI-GULYÁS 2002.

²⁵ SUTTON 2007.

²⁶ MCGEE 1979: 889.

²⁷ LAWTON 2005.

²⁸ KÁRPÁTI 2005.

²⁹ HEGARTY 2010: 265.

- téri percepció (a vizuális ingerek befogadása, képi értelmezése, a függőleges és a vízszintes irányok szemléltől független felismerése, akár félrevezető vizuális ingerek esetén);
- vizualizáció (jellemzően a bonyolult, több lépésből álló manipulációkat tartalmazó téri műveletek, egy objektum vizualizálásának képessége, amint az objektum részei mozognak vagy elmozdulnak egymáshoz képest);
- mentális forgatás (két- és háromdimenziós formák gyors mentális elforgatásának képessége);
- téri orientáció (olyan dinamikus folyamat, ahol a szemlélő egy térbeli helyzetben helyesen el tudja magát tájolni valóságosan vagy képzeletben);
- téri relációk (mentális folyamat, amelynek lényege, hogy megértsük egy alakzat vagy annak részei közötti térbeli kapcsolatokat).

A téri-vizuális képességek legfontosabb komponensei a téri tájékozódás és a téri műveletek, amelyek közül kiemelhető a mentális forgatás.³⁰

A térsemlélet mérési lehetőségei

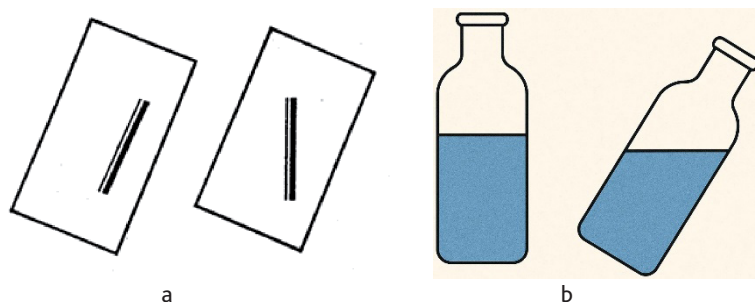
A térsemlélet mérése komoly kihívást jelent, végrehajtása jelentős mértékben különbözik a más-más korcsoportba tartozó személyek esetében. Kisgyerekkorban a térsemlélet mérése megfigyelésekkel és célirányos játékokkal történik (például formaillesztő játékok). A formaillesztő játék lényege, hogy a kisgyerek kézbe veszi a különböző testeket, ezeket elforgatja, és megkeresi a helyüket a másik (üreges) testben.

A kisiskolás gyermekek térsemléletét 10 éves kortól érdemes vizsgálni, mivel ekkor alakulnak ki a téri jelenségek kétdimenziós megjelenítéséhez szükséges pszichikus sajátosságok. Kisiskolásoknál jól alkalmazható teszt, ahol egy adott térképen állva, egy központi figurából kiindulva (adott helyen és irányban állva) meg kell mondani, hogy milyen irányba kell elindulni, ha egy adott másik tárgyhoz akarunk megérkezni.

Felnőtteknél a térsemlélet mérése nemzetközileg elismert és használt tesztekkel történik, amelyek lehetnek egyrészt hagyományos térsemlélettesztek vagy egyéb alternatív mérőeszközök. A tesztek jelenleg is népszerűek, mivel megbízhatók és máig érvényesek. A téri percepció mérése történhet rúd és keret teszttel (*rod and frame test*, RFT: 2. a ábra), ahol egy megdöntött keretben kell egy rudat függőleges helyzetbe hozni, vagy vízszint-teszttel (*water-level test*), ahol egy megdöntött üvegben kell a vízszintet meghatározni (2. b ábra).³¹

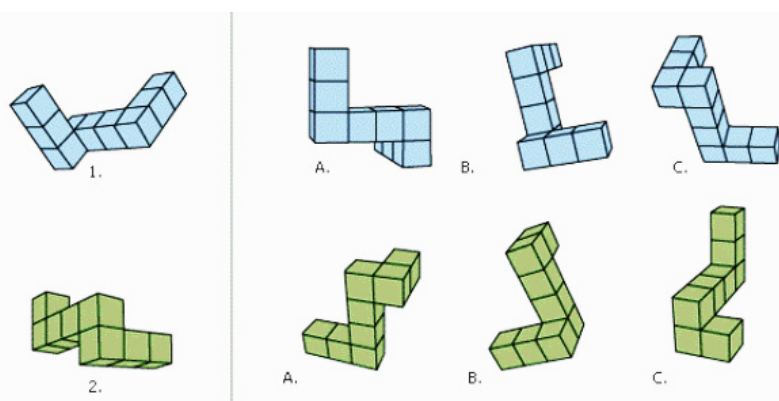
³⁰ TÓTH 2021.

³¹ KÁRPÁTI–BABÁLY–SIMON 2012.



2. ábra: Térbeli tájékozódási teszt
Forrás: <https://bit.ly/4lVyHW8>

A mentális forgatásnál alkalmazott tesztek (*mental rotation test*, MRT) nehézsége függ az alakzatok bonyolultságától, a forgatás mennyiségétől, valamint a válaszadás sebességétől. A 3. ábrán a test kis egybevágó kockákból van felépítve, a szomszédos kockák mindig teljes lapjukkal érintkeznek. A megadott számmal jelölt képet gondolatban el kell forgatni, és a három variációból ki kell választani a helyeset, amelyik egybevágó a megadott alakzattal. Nem alkalmasak a fiatalabb korosztály mérésére azok a tesztípusok, amelyek háromdimenziós alakzatokat használnak fel és mérik a válaszadás sebességét is, mivel ezek túlzottan nagyfokú koncentrációt igényelnek.³²

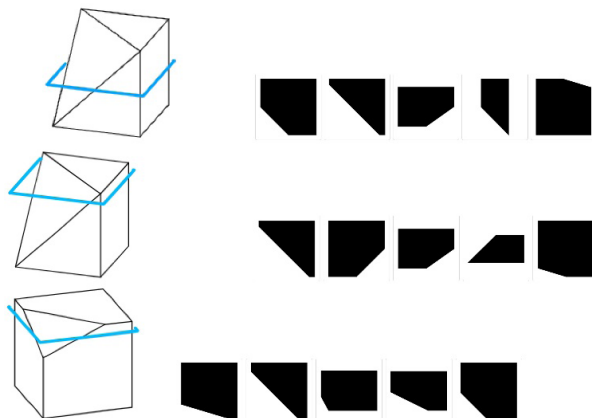


3. ábra: Mentális forgatási teszt
Forrás: <https://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=mental-rotation-task>

A vizualizáció, téri reláció méréséhez az egyik gyakran használt teszt a mentális metszet teszt (*mental cutting test*, MCT), ahol meg van adva egy test és egy sík, a testet képzeletben elmetszük a síkkal, majd öt válaszlehetőség közül kell kiválasztani a metszési alakzatot (4. ábra). A teszt

³² BABÁLY 2020.

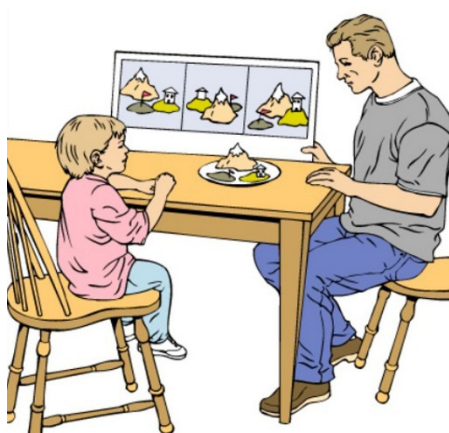
összetett, mivel egy axonometrikus kép alapján kell elképzelni a testet, meg kell vizsgálni a metszősík testhez viszonyított helyzetét, a metszet éleit, a hosszúságokat és a szögeket.³³



4. ábra: Mentális metszet teszt

Forrás: <https://www.mdpi.com/2414-4088/8/11/99>

A téri tájékozódási képességek vizsgálata áll a legközelebb az életben előforduló téri problémákhoz, egyik vizsgálati módszere a három hegy teszt (*three mountains test*) (5. ábra), ahol cél az egocentrikus nézőpontból való kilépés képességének vizsgálata. A kísérletben részt vevő egy terepmodell előtt ül, amelyen három hegy van, feladata a modelltől készült képek közül kiválasztani azt, amelyik a modellt a szemben ülő nézőpontjából mutatja.



5. ábra: Három hegy teszt

Forrás: https://owerbestet.click/product_details/124181228.html

³³ BALLA et al. 2024: 99.

A tesztek kiválasztásánál fontos szempont, hogy annak kitöltése élvezetes legyen a résztvevők számára, ezért a statikus papír alapú tesztekkel szemben előnyt jelentenek az online kitöltési megoldások, amelyekkel gyorsabban, nagyobb számban végezhető el mérések, és ezek megbízhatóbb eredményeket adhatnak. A multimédiás eszközök bevonása a tesztekbe nemcsak látványosabbá teszi a feladatokat, hanem segíti azok megértését is.

Az alternatív mérőeszközök a hagyományos tesztektől nemcsak feladattípusaikban, hanem eszközeikben is eltérnek, egy részük az információs és kommunikációs technológiákat használja ki, de a digitalizált teszteknel nagyobb interaktivitás lehetőségét nyújtják. A mérőeszközök másik része a valós térben elvégzendő műveletekből áll. Az alternatív mérőeszközök lehetnek dinamikus tesztek és feladatok, tájékozódás virtuális terekben, téri intelligencia a mindennapokban, valamint téri képességek mérése konstruáló feladatokkal.

Dinamikus teszteknel a résztvevők két- és háromdimenziós ábrákat mozgathatnak a virtuális térben. Az interaktivitás a résztvevők számára motiváló erővel hat, és megkönnyíti a feladatok értelmezhetőségét, hátránya, hogy nem minden téri komponens mérésére alkalmas. A téri orientációt változatos eszközökkel lehet mérni, ahol két fő feladattípus különböztethető meg. A nagyléptékű terek feladatainál a megfigyelő a környezet része, és egy nézőpontból látja be a teljes megfigyelt területet, a kisléptékű terek feladatainál az objektumok és térbeli kapcsolataik egyidejűleg észlelhetők. A téri orientáció mérésére alkalmas tesztek imitálni próbálják a valós környezetben megszokott mozgást és nézőpontot. A térbeli tájékozódásra vonatkozó mérések többnyire valós térben vagy térképek segítségével zajló útvonalkeresésekből állnak, de lehetnek olyan verbális feladattípusok is, ahol egy olvasott vagy hallott szöveg alapján kell a mentális képet megkonstruálni. A valós térben történő felmérés hátránya, hogy a mérések egyedi vonásokkal rendelkeznek (például az adott helyszín sajátosságai), ezért a kapott eredmények érdemben nem hasonlíthatók össze, és általános érvényű következtetések nehezen vonhatók le. A konstruáló feladatok különböző elemszámú modellekből állnak (például építőjáték), ahol – egy bútor szerelési útmutatójához hasonlóan – izometrikus képek alapján történik az összeállítás, közben pedig mérik az elkészítés időtartamát is.³⁴

Összegzés

A modern technológiák lehetővé teszik komplex, precíz modellek gyors és költséghatékony kialakítását, ezáltal felgyorsítják a termékfejlesztést és a prototípusgyártást. Ez különösen fontos a mérnöki, művészeti és tervezői területeken, ahol a térsemlélet fejlesztése alapvető a hatékony munkavégzéshez, de nemcsak ezeknél, hanem a tudományokban és a katonai alkalmazásokban is, mivel segíti az összetett problémák vizuális és térbeli értelmezését, valamint a hatékony kommunikációt. A technológia elősegíti az anyagok környezetbarát felhasználását, csökkentve a hulladékot és támogatva a fenntarthatóságot. A térbeli formák, méretek megértése különösen a gépészeti szakmákban elengedhetetlen a hatékony tervezéshez és problémamegoldáshoz, a térsemlélet hiánya pedig komoly akadályokat jelent. Emellett a térsemlélet fejlesztése a középiskolás korosztály körében is fontos, mert ez az időszak

³⁴ BABÁLY-BUDAI-KÁRPÁTI 2013: 6–19.

kulcsfontosságú a térbeli gondolkodási képességek kialakításában, amelyek alapvetőek a későbbi szakmai és mindennapi életben való helytálláshoz. Az oktatástechnológia fejlődése, különösen a digitális eszközök, virtuális valóság és a 3D-nyomatás lehetőségei, interaktívabbá és szemléletesebbé teszik a tanulási folyamatokat, támogatva a térzemlélet fejlesztését. A térlátás és a térzemlélet fogalmai a vizuális és mentális képességek komplex rendszerét írják le, amelyek segítik az objektumok térbeli helyzetének, egymáshoz viszonyított pozícióinak, valamint a mélységnek és az alakzatoknak a felismerését. A különböző mérési módszerek, mint például a térbeli tájékozódási és forgatási tesztek, valamint a virtuális feladatok, lehetővé teszik a térzemlélet fejlesztését és mérését különböző életkori csoportokban. A digitális és interaktív módszerek alkalmazásával gyorsabb, hatékonyabb és nagyobb mintákra kiterjedő mérések valósíthatók meg, amelyek hozzájárulnak a térbeli képességek fejlesztéséhez, ezáltal támogatják a szakmai felkészítést és a problémamegoldó képességek javítását. A térzemlélet fejlesztése stratégiai fontosságú a modern oktatásban, mivel hozzájárul a technológiaorientált munkaerőpiac igényeinek kielégítéséhez, a fenntartható fejlődéshez és a komplex problémák hatékony megoldásához a különböző szakterületeken.

Felhasznált irodalom

- A magyar nyelv értelmező szótára (2016). Akadémiai Kiadó. Online: <https://mek.oszk.hu/adatbazis/magyar-nyelv-ertelmezo-szotara/kereses.php?kereses=t%C3%A9rszemlel%C3%A9let>
- BABÁLY Bernadett (2020): *A térzemlélet fejlődésének vizsgálata a vizuális nevelés szemszögéből: mérőeszközök, fejlődési korszakok és pedagógiai javaslatok*. PhD-disszertáció. Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Neveléstudományi Doktori Iskola.
- BABÁLY Bernadett – KÁRPÁTI Andrea (2015): Vizuális-téri képességek fejlesztése. In TÓTH Péter – HOLIK Ildikó (szerk.): *Új kutatások a neveléstudományokban*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 127–137. Online: https://www.eltereader.hu/media/2016/12/UKN_2016_WEB.pdf
- BABÁLY Bernadett – BUDAI László – KÁRPÁTI Andrea (2013): A térzemlélet fejlődésének vizsgálata statikus és mozgó ábrás tesztekkel. *Iskolakultúra*, 23(11), 6–19. Online: <https://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21440>
- BALLA Tamás et al. (2024): A térbeli képességek javításának multimodális megközelítése. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(11), 99. Online: <https://doi.org/10.3390/mti8110099>
- BIRÓ Ildikó (2019): A vizuális kommunikáció tudáselemei, alkotói részképességeinek fejlesztése és értékelése. *Magyar Pedagógia*, 119(4), 329–355. Online: <https://doi.org/10.17670/MPed.2019.4.329>
- BÖLCSKEI Attila et al. (2023): Adatvizualizáció és a téri képességek fejlesztése. In ORSZÁG Adrienn – BAJÁK Szabolcs (szerk.): *I. Csernyák László konferencia közleményei*. Budapest: Budapesti Gazdasági Egyetem, 116–132. Online: https://doi.org/10.29180/978-615-6342-61-4_11
- BUCKLEY, Jeffrey – SEERY, Niall – CANTY, Donal (2018): A Heuristic Framework of Spatial Ability: a Review and Synthesis of Spatial Factor Literature to Support its Translation into STEM Education. *Educational Psychology Review*, 30(3), 947–972. Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-018-9432-z>
- EMBER István (2022): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közöny*, 32(3), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- EMBER István (2023): 3D nyomtatott kumulatív idomtöltetek tesztrobbantása. *Műszaki Katonai Közöny*, 33(3), 29–40. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.3>
- ENGLER Péter (2008): *A térlátás és a térfotogrammetria alapjai*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. Online: https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_2241_010_100915.pdf

- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D-modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- HEGARTY, Mary (2010): Components of Spatial Intelligence. *Psychology of Learning and Motivation*, 52, 265–297. Online: [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(10\)52007-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(10)52007-3)
- HEGEDŰS Ernő et al. (2024): Topológiai optimalizálás, generatív tervezés és a 3D-nyomtatás: Az aditív gyártástechnológia ipari alkalmazhatóságának vizsgálata. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 141–154.; Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.10>
- KARL Éva – MOLNÁR György (2021): A digitális kompetencia fejlesztésének igénye és lehetőségei a szakképzésben napjaink reformterhelt világában. *Új Pedagógiai Szemle*, 71(5–6), 55–68.
- KÁRPÁTI Andrea – BABÁLY Bernadett – SIMON Tünde (2012): A vizuális képességrendszer elemeinek értékelése: térsemlélet és képi kommunikáció. *Online diagnosztikus mérések az iskola kezdő szakaszában*. Budapest: Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet.
- KÁRPÁTI Andrea (2005): *A kamaszok vizuális nyelve*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- KATONA János (2012): *A geometriai térsemlélet számítógéppel támogatott fejlesztése a műszaki felsőoktatásban*. PhD-disszertáció. Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Matematika és Számítástudományok Doktori Iskola.
- KOVÁCS András Zsolt – NÉMETH László (2014): Development of Spatial Ability According to Mental Rotation Test at SKF and YBL. *Ybl Journal of Built Environment*, 2(1), 18–29. Online: <https://doi.org/10.2478/jbe-2014-0002>
- KOVÁCS Zoltán (2022): Robbantás oktatás a katonai BSc. képzésben. In DARUKA Norbert (szerk.): *Fűrés-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2022*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 61–74.
- KOVÁCS Zoltán (2023): 3D-nyomtatás és felhasználása a katonai robbantástechnika oktatásában. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *II. Fűrés-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2023*, Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 94–103.
- LAVICZA Zsolt et al. (2018): *Mathematics Learning Through Arts, Technology and Robotics: Multi-and Transdisciplinary Steam Approaches*, Taipei: 8th ICMI-East Asia Regional Conference on Mathematics Education, 110–122. Online: https://www.researchgate.net/publication/327402165_MATHEMATICS_LEARNING_THROUGH_ARTS_TECHNOLOGY_AND_ROBOTICS_MULTI-AND_TRANSDISCIPLINARY_STEAM_APPROACHES
- LAWTON, Carol A. – HATCHER, David W. (2005): Gender Differences in Integration of Images in Visuospatial Memory. *Sex Roles*, 53, 717–725. Online: <https://doi.org/10.1007/s11199-005-7736-1>
- LOGAN, John R. (2012): Making a Place for Space: Spatial Thinking in Social Science. *Annual Review of Sociology*, 38, 507–524. Online: <https://doi.org/10.1146/annurev-soc-071811-145531>
- MCGEE, Mark G. (1979): Human Spatial Abilities: Psychometric Studies and Environmental, Genetic, Hormonal, and Neurological Influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889–918. Online: <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- MEZŐ Ferenc (2022): Fogalomalkotó gondolkodást fejlesztő gyakorlatok az OXIPO modell aspektusából. *OXIPO – interdiszciplináris tudományos folyóirat*, 3, 43–55. Online: <https://doi.org/10.35405/OXIPO.2022.3.43>
- NAGYNÉ Kondor Rita (2018): Mérnöki térsemlélet és térgeometria – Kutatási tapasztalatok 1. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 3(5), 383–387. Online: <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2018.5.36>.
- NAGYNÉ Kondor Rita – SIPOS Dóra (2020): Mérnöki és innovációs készségek fejlesztése. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 5(2), 364–369. Online: <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2020.2.42>.
- PETZNÉ Tóth Szilvia – CSISZÁR Viktória (2023): Tudástranzfer az alsó tagozatos matematika oktatásban. *Közösségi Kapcsolódások*, 1, 133–147. Online: <https://doi.org/10.14232/ka-pocs.2023.1.133-147>

- SANCHEZ, Christopher A. (2012): Enhancing Visuospatial Performance Through Video Game Training to Increase Learning in Visuospatial Science Domains. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(1), 58–65. Online: <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0177-7>
- SÉRA László – KÁRPÁTI Andrea – GULYÁS János (2002): *A térzemlélet*. Pécs: Comenius.
- SIPOS Dóra (2018): A numerikus számítások szerepe a műszaki modellekben. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 3(5), 76–83. Online: <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2018.5.9>.
- SORBY, Sheryl – VEURINK, Norma – STREINER, Scott (2018): Does Spatial Skills Instruction Improve STEM Outcomes? The Answer Is ‚Yes‘. *Learning and Individual Differences*, 67, 209–222. Online: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.09.001>
- SUTTON, Ken – WILLIAMS, Anthony (2007): *Spatial Cognition and its Implications for Design*. Hongkong: International Association of Societies of Design Research.
- SZAJKÓ Gyula (2018): A Műveleti Összekötő És Felderítő Csoportok szerepe az információk biztosításában. *Hadmérnök*, 13(4), 105–112. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/3588>
- SZAJKÓ Gyula – FÁBOS Róbert (2020): Gondolatok a katonai ellátási lánc fejlesztési lehetőségeiről. *Katonai Logisztika*, 28(1–2), 151–181. Online: <https://doi.org/10.30583/2020/1-2/151>
- TÓTH Attila et al. (2021): Geometriai vizualizáció a gyakorlatban. *OxIPO – interdiszciplináris tudományos folyóirat*, 1, 83–95. Online: <https://doi.org/10.35405/OXIPO.2021.1.83>
- TÓTH Péter et al. (2017): *Középiskolai tanulók vizuális megismerőképességének fejlesztése I. Pedagógia kutatások a Kárpát-medencében II. Kárpát-medencei Oktatási Konferencia*. Nagyvárad: Partiumi Keresztény Egyetem.
- TÓTH Péter (2021): *A műszaki rajz tanításának módszertana I*. Budapest: Typotop Kft.
- ZWARTJES, Luc et al. (2017): *Literature Review on Spatial Thinking*. GI Learner. Online: <https://www.gilearner.ugent.be/wp-content/uploads/GI-Learner-SpatialThinkingReview-3.pdf>

Horváth Zoltán¹ 

Az energiabiztonság pénzügyi, gazdasági kihatásainak elemzése

Analysis of the Financial and Economic Impacts of Energy Security

Magyarország geopolitikai, földrajzi és gazdasági „üzemméretét” alapul véve több közép- és hosszú távú kihívás létezik az energiaellátás biztonsága, fenntarthatóság és a zöldenergiára való átállás, illetve a kapcsolódó infrastruktúra-fejlesztés, -korszerűsítés szempontjából. Cikkemben azt vizsgálom, milyen közép- és hosszú távú működtetést befolyásoló hatások jelentkeznek az energiarendszerekkel kapcsolatban, és milyen közép- és hosszú távú teendők prognosztizálhatók kihívásként Magyarország számára, illetve milyen feladatok adódnak, és azok milyen költségeket jelentenek a következő évtizedekben az energiabiztonságra/energiaellátásra nézve.

Kulcsszavak: komplex biztonság, energiastratégia, energiabiztonság, energetikai beruházások, gazdasági hatások

Based on Hungary's geopolitical, geographical and economic „plant size”, several mid- and long-term challenges may arise in terms of energy supply security, sustainability and the transition to green energy, as well as related infrastructure development and modernization. In my article, I examine what effects occur in connection with the energy systems, which have an impact on medium- and long-term operation, and in this context what medium- and long-term actions can be prognosticated, as a kind of „challenge” for Hungary, as well as what known tasks are occurring and what costs they represent in the coming decades, basically in terms of energy security/energy supply.

Keywords: energy crisis, climate crisis, complex security, energy strategy, energy security, energy investments, economic effects

¹ Főreferens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem RTK Rendvédelmi Tagozat, e-mail: horvzoli.1976@gmail.com

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben több globális ellátási probléma és energetikai incidens történt, például a 2006-os európai áramkimaradás és a 2021-es texasi havazás okozta zavar. Támadások, balesetek is sújtották az energetikai infrastruktúrát: a 2008-as orosz–grúz háború olajvezeték-támadásai, a 2011-es fukusimai baleset, a 2016-os indiai hekkertámadás és szaúdi dróntámadás, valamint a 2022-es orosz–ukrán háború Északi Áramlat robbantása és zaporizzsjai atomerőmű támadásai. Új feladat az energiatárolás fejlesztése (akkumulátoros, hidrogénalapú tárolás), az energiahatékonyság növelése, a meglévő épületek energiafelhasználásának csökkentése, új, energiatakarékos technológiák alkalmazása és a közlekedési szektor elektrifikációja. A lakosság és a gazdaság növekvő energiaigénye szükségessé teszi a hálózatfejlesztések mielőbbi megindítását, kapcsolódóan az intelligens hálózatok (*smart grid*) és a digitalizáció alkalmazásához.

Kérdésként merül fel: hogyan alakul viszonyulásunk a nukleáris energia alkalmazásához, amely kulcsfontosságú elem lesz a következő évtizedekben a stabil és alacsony szén-dioxid-kibocsátású erőforrások között, ugyanakkor az új technológiák (moduláris reaktorok) jelentette fejlesztési lehetőségek is velünk vannak. Mindezek mellé társulnak az infrastrukturális fejlesztési költségek, a támogatási és ösztönző rendszerek, az energiatermelő rendszerekben megjelenő megújuló energiák miatt jelentkező energiatárolási költségek és nem utolsósorban a nukleáris erőművek beruházási, fenntartási majd leszerelési költségei.

További kérdés: milyen megoldási javaslatok, irányok léteznek az ellátási problémákra, illetve túlmutatva a kinetikus és az aszimmetrikus támadások jelentette veszélyeken, milyen, a társadalmi és gazdasági fejlődési ütemhez igazodó cselekvések prognosztizálhatók a következő évtizedekre?

A magyarországi energiabiztonságra kockázatot jelentő tényezők, makrogazdasági hatások és fejlesztési finanszírozhatósági lehetőségek

A hagyományos energiapolitikai „háromszög”, vagyis az energiabiztonság – környezet- és éghajlatvédelem – gazdaságosság egyre inkább kiegészül egy sajátos elemmel, az úgynevezett társadalmi elfogadás tényezővel. Az ellátásbiztonság kérdéskörének mutatói között említhetők a következő főbb paraméterek: az ellátás mennyire jut el a társadalmi szereplőkhöz, illetve milyen áron, valamint ha igen, mennyire biztosítható az energiaellátás fenntarthatósága. A társadalom jelen olvasatban a szolgáltatást igénybe vevő piaci szereplőket és a háztartásokat jelenti elsődlegesen, de ide kell érteni a közületi szereplőket, az állami és az önkormányzati szektor szereplőit mint fogyasztókat is.

Napjainkban a közbeszéd fő témái a következők: a megújuló energiák arányának növelése az energiamixben, elzárkózás a vízerőmű-építéstől (a 90-es évek politikai tapasztalataiból is következőn), a nukleáris energia alkalmazásának újragondolása, Fukushima és Csernobil „rémének” felemlgetésén keresztül. A döntéshozó bizonyos kérdéseket már stratégiába foglalt: a *Nemzeti Energiastratégiában* (NES) meghatározott célkitűzés kimondja, „Magyarország célja, hogy a magyar villamosenergia-termelés legnagyobb része két forrásból származzon:

atomenergiából és megújuló energiából, elsősorban naperőművekből.”² A 2022. február 24-ei orosz inváziót megelőzően az ellátásbiztonság és a megfizethető energia biztosított volt az EU-ban és Magyarországon, ez lehetővé tette az összpontosítást a gazdasági növekedésre. A globális éghajlatváltozás, illetve a bekövetkezett geopolitikai változások fényében Magyarország energiarendszerét újra kell vizsgálni, annak biztonsági kihatásaival együtt.

Állami beruházások energiahatékonysági kérdései

Az állami építési beruházások 2035. december 31. napjáig szóló szakpolitikai-ágazati beruházási koncepcióinak elfogadásáról szóló 1308/2024 (X. 9.) Korm. határozat (beruházási határozat) az energiahatékonysági szakpolitikák elveire vonatkozóan több lényeges megállapítást tesz.

A Kormány határozott célja, hogy állami beruházásokon keresztül erősítse az energiaszuverenitást, a költséghatékonyság jegyében az energiatermelési és -felhasználási infrastrukturális felújításokat, valamint, hogy közép- és hosszú távon ösztönözze az energiamegtakarítást az állami és az önkormányzati szektorokban, együttműködve a magánszektorral. Az energiaszuverenitás növelésének eszközei: az egyedi fűtésű intézmények esetében lehetőség szerint a megújuló hőenergia hasznosítása, a gázfűtés helyett megújuló alapú fűtési és használati melegvíz-rendszerek telepítése.

A beruházási határozat *Az energiahatékonysági szakpolitikák elvei* fejezetben megállapítja, hogy „az energiaszektor kereslet-kínálat dinamikája következtében a magas energiaárak időről-időre vissza fognak térni. Az energiahatékonyság folyamatos fejlesztésével mérsékelhető a magas energiaár időszakok gazdasági sokkjai. A folyamatos alkalmazkodás itt egyben a versenyképesség megőrzésének része.” A beruházási határozat az energiahatékonyságot a magyar gazdaság versenyképessége fontos tényezőjeként azonosítja. Ezt segítheti elő a közintézmények felújítása, amely „Magyarország 74% (Nemzeti Energia- és Klímaterv adat, nukleáris fűtőelem import arányával számolva) körüli primer energia import kitétszégét csökkenteni képes intézkedés”, illetve „a közintézmények 2023-ban közel 405 milliárd forint összegű rezsizsámlájának csökkentésével a költségvetés kiadási oldalát csökkenteni képes eszköz”. Fontos megjegyezni, hogy a beruházási határozatban 2025. január 1-jétől nem támogatott a fosszilis tüzelőberendezések alkalmazása. Ezek az intézményi felújítások jelentősen növelhetik a hazai építőipar megrendeléseit és ezzel az ágazat jövedelem termelését, valamint „az energiatermelő (erőmű fejlesztések) és a szállító kapacitási igényt (hálózatfejlesztés) is képes mérsékelni (a tervezésben az energiahatékonyság az első elv alkalmazásával)”.

Kiindulva a már említett, *Irány az 55%!* intézkedéscsomag célkitűzéseiből, a beruházási határozatban a következőket olvashatjuk: fontos, hogy

„a kormányhivatalok olyan koncepció megvalósítását helyezik előtérbe, mely az ingatlanok hosszú távú, alacsony energiaigényű, szükség esetén az energiamixben fellelhető források közül akár módosítható energiaellátású épületek használatát valósítják meg. Ennek megfelelően kiemelt cél a költségesen üzemeltethető energiefelhasználási rendszer kiváltása a hatékony és

² Nemzeti Energiestratégiáról szóló 77/2011. (X. 14.) OGY határozat (NES), 9.

fenntartható elemek kiépítésével, a napelemes rendszer telepítésével – mellyel az épületek káros anyag kibocsátása valamint a fosszilis energia felhasználása csökken – pedig elérhetővé válik az energiafüggőség mérséklése is.”

A beruházási rendelet csoportosítja ezeket a beruházásokat oly módon, hogy: „energetikai korszerűsítést célzó beruházások (71%), komplex beruházások (28,2%), karbantartás, va-
gyon- és állagmegóvás érdekében elvégzett beruházások (0,8%)”. További hatékonyságja-
vító eszköz az ingatlanracionalizáció megvalósítása, amellyel három fontos cél is elérhető.
Egyfelől a jelenleg széttagolt ingatlanokban működő szervezeti egységek elhelyezése egy
épületben, a korszerűtlen vagy bérelt ingatlanok kiváltása valósulhatna meg, ezzel elérve
a közigazgatás infrastruktúrájának konszolidálását a költségek csökkentése érdekében. Más-
felől előtérbe kerülhetnek az úgynevezett állagmegóvó beruházások, amelyek lehetővé teszik
a balesetveszélyes állapotok megelőzését, az élet- és vagyonvédelem növelése érdekében
vagyonvédelmi és hibaelhárítási feladatok elvégzését, és ezekkel hosszú távon biztosítható
az irattárolási és a funkcionális feladat-végrehajtás is.

Fosszilis energiahordozók és szénkészletek

Magyarország energiafüggése 2000 óta nagyjából változatlan: a kőolaj- és földgázimport aránya ~90%, ebből a kőolaj ~64%, a földgáz ~95%. Az energiaár ingadozása és a megszerzhető energiahordozókért folytatott küzdelem a kiszámíthatatlan piaci viszonyok újragondolásra sarkallták a döntéshozókat.

A hatályos nemzeti stratégiák szerint a szén 2030-ra teljesen ki fog kerülni a magyar villamosenergia-mixből. Megjegyzem, a *Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról* szóló 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat (NBS) a hazai lignit, barna- és feketeszén-készleteket stratégiai tartalékként szerepelnek a nemzeti vagyonkörben.³ A NES a széna-
lapú energiatermelést az energetikai krízishelyzetek gyorsan mozgósítható tartalékaként
határozza meg, amely versenyképesség-növelési eszközként is szerepel, főleg a szén, urán
és a geotermikus potenciál vonatkozásában.

A nemzeti vagyonkörbe tartozó, az üvegházhatású gázok kibocsátási egységeinek kereskedelméről szóló törvény szerinti kibocsátási egység és légi közlekedési kibocsátási egység, valamint az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye és annak Kiotói Jegyzőkönyve végrehajtási keretrendszeréről szóló törvény szerinti kiotói egység, illetve az erre épülő kibocsátás-kereskedelem Magyarországon érinti a szénkészletekre épülő energiatermelő rendszereket. Mivel a magyar nehézipar mérete kicsi, az ETS, vagyis az EU kibocsátás-
kereskedelmi rendszer szerinti részarányunk alacsony, 32%-át fedi le az országos kibocsá-
tásnak. A Mátrai Erőmű működése a magas ETS-árak mellett egyre nagyobb pénzügyi terhet jelent az államnak, ezért születtek meg a tervek a széntüzeléses blokkok leállítására 2025-ig. A magas ETS-ár kihat az építőipar magasabb költségszintjére, például a cement-
és téglatermékek árán keresztül is. Az ETS magas ára azonban kedvező is lehet a magyar

³ A nemzeti vagyonról szóló 2011. évi CXCVI. törvény 4. § (1) bekezdés c) pontja alapján az állam kizárólagos tulajdonába tartoznak a „föld méhének kincsei természetes előfordulási helyükön”.

költségvetésnek. Az ETS-kvótaeladási bevételek alakulása: 2019-től, az akkori ~82 milliárd forintról 2-3-szoros bevételnövekedés történik napjainkban.

2021-től ezeket a bevételeket egészítik ki az új ETS pénzügyi alapok, a Modernizációs és Innovációs Alap, amelyből energiahatékonysági, energiatárolási projektek finanszírozhatók, vagy a klímavédelem kárvallottjainak (szénerőműben dolgozók, bányászok) megsegítésére hívhat le forrásokat hazánk. A Modernizációs és Innovációs Alapból energetikai oldalról nagyságrendileg 300 milliárd forint bevétel várható, amely bevétel a Mátrai Erőmű reorganizációjára is fordítható, ezzel is tehermentesítve a központi költségvetést.

2022-ben a nettó energiainport és primer energiafelhasználás hányadosaként meghatározható energiafüggőség mértéke 64,2%-os volt.⁴

A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal 2021-es energiastatisztikai riportja szerint a primer belföldi felhasználás 4,8%-kal nőtt. A fosszilis energiahordozók használata emelkedett 8,7%-kal, a szénfelhasználás 18,3%-kal csökkent.⁵ A fosszilis importfüggőség a földgáznál javult (+8,4%), míg a kőolajnál kismértékben romlott (-0,1%).⁶ A földgáztároló kapacitás⁷ 4,43 milliárd m³, és a fosszilis energiahordozók elégetése súlyos egészségügyi hatásokkal jár, például légúti betegségekkel, amelyek 2020-ban 117 ezer halálesetet⁸ okoztak.

Megújuló energiák

Magyarországon kimondott cél a megújuló energia részarányának 21%-ra emelése a bruttó végsőenergia-felhasználáson belül. A villamosenergia-felhasználás számai (2021-es adatok) alapján a felhasznált 48 560 GWh-nyi energia 26,3%-a import (12 775 GWh), az itthon termelt villamos energia 44,7%-a (21 746 GWh) atomenergiából, 26,4%-a (12 843 GWh) földgázból és 8,6%-a (41 287 GWh) szénenergiából származik, a megújuló energia aránya 18,1%⁹ (8789 GWh).¹⁰

Szakértői becslések szerint a megújulóenergia-termelés összességében olcsóbbá és ebből következően megtérülővé fog válni a következő évtizedekben. Az amerikai Department of Energy's Solar Energy Technologies Office 2030-ra vonatkozó előrejelzése¹¹ alapján a napenergia költsége 8-12 forint/kWh, a szélenergia költsége 14-16 forint/kWh szintre mérséklődhet. A paksi atomerőműben előállított 1 kWh villamosenergia árszintje 11-12 Ft.¹²

⁴ Érdekes statisztikai számítási módszer, hogy a hazai módszertan az atomenergiát hazai termelésnek minősíti, pedig, ha figyelembe vesszük a paksi fűtőelemimport mennyiségét, akkor az energiafüggőségünk jóval 80% felett van.

⁵ Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal 2021: 1.

⁶ Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal 2021: 3.

⁷ Lásd: <https://mfgt.hu/-/media/MFGT/Szervezet/Dia1.ashx>

⁸ TÖRŐ 2023: 36.

⁹ A megújuló energia aránya: 10,6% származott napenergiából, 5,7% biomasszából, illetve biogázból, és csupán 1,8% szélenergiából, ez mindösszesen 18,1%.

¹⁰ KSH [é. n.].

¹¹ Solar Energy Technologies Office 2021.

¹² Világgazdaság 2022a: 3.

1. táblázat: A lakossági napelemes rendszer költségeinek alakulása (becslés)

| Paraméter | 2020-as referenciaérték | 2030 alacsony költség | 2030 nagy teljesítmény |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Modul hatékonysága | 19,50% | 20% | 30% |
| Modulok száma | 22 (7kW dc) | 36 (12 kW dc) | 36 (18 kW eac) |
| Modul költsége | 0,41 USD/W | 0,17 USD/W | 0,30 USD/W |
| Rendszeregyenleg költsége | 1,68 USD/W ac | 0,92 USD/W dc | 0,8 USD/W dc |
| Projekt rezsiköltsége | 0,62 USD/W ac | 0,32 USD/W ac | 0,33 USD/W ac |
| Kezdeti működési költség | 14,1 USD/kW dc – év | 14,1 USD/kW dc – év | 10,7 USD/kW dc – év |
| Kezdeti éves energiahozam | 1542 KWh/kW ac | 1593 KWh/kW ac | 1593 KWh/kW ac |
| Teljesítmény romlása | 0,7 %/év (30 év) | 0,5 %/év (30 év) | 0,4 %/év (30 év) |
| Kölcsön kamata és futamideje | 5% / év | 4 % /év 30 éven keresztül | 4 % /év 30 éven keresztül |
| LCOE (2019 USD) | 12,8 ¢/kWh | 5,0 ¢/kWh | 5,0 ¢/kWh |

Forrás: Solar Energy Technologies Office 2021

Kérdésként vetődik fel, hogy a megújulóenergia-termelés a rendszerben fő irányként kell hogy szerepeljen egy energiamixben vagy csak kiegészítő elemként.

A nap- és szélenergiával kapcsolatban felhozott ellenérvek jelenleg a szezonális kiegyenlítési problémákra vezethetők vissza, illetve a napenergiával kapcsolatban kulcskérdés a téli időszak áramtermelési bizonytalansága. Ezért lesz szükség úgynevezett tartalékerőművi kapacitások fenntartására, illetve biztató az energiatárolási rendszerek technológia fejlődése is. Bár a szakértők a szélenergia előnyeiként említik a hálózat optimálishoz közelítő kihasználhatóságát, kiegészíthetőségét a naperőművekkel, illetve hogy nem igényel mezőgazdasági területeket a telepítése, a szélenergia vonatkozásában a NES nem tervezi a kapacitások növelését 2030-ig. Hatályos jogszabályi korlátozás miatt lakott terület határától számított 12 km-es körzetben nem telepíthető ipari méretű szélenerőmű, de folyamatban van a szabályozás felülvizsgálata.

Tartalékerőmű-kapacitásokra vonatkozóan a NES megállapítja, hogy a magyar villamosenergia-rendszerben egyfelől a Paks II. beállításáig és a megújuló rendszerintegrációjából fakadó hálózatfejlesztési feladatok elvégzéséig, illetve az időjárás szélsőségessé válása miatt tapasztalható felhasználás-/fogyasztás-növekedés szükségessé teszi az alacsony óraszámú termelő stratégiai tartalékerőművi kapacitások fenntartását. A NES a Mátrai Erőművet említi tartalékerőműként.¹³

¹³ NES 2011: 71.

Pogátsa Zoltán¹⁴ az energiapolitikát illetően hármás dilemmát jelez, kapcsolódva a fent idézett importfüggés, fosszilis energia jelenléte és az energetikai támogatások kérdésében. Az első az Oroszországtól való függés, amelyről a következőket írja:

„Nemcsak a volt keleti blokk országaiban, hanem az unió nyugati felében is bőven vannak olyan országok, amelyek olyan mértékben függenek az orosz fosszilis, illetve nukleáris importtól, hogy az vészhelyzetben a gazdaság teljes összeomlásával fenyeget. Ráadásul ez az egyoldalú függés az elmúlt évtizedben nemhogy csökkent volna, még nőtt is.”

Az energiakitettséget Pogátsa szerint „akkor is fennmaradna, ha Oroszországról sikeresen leválna a kontinens, csupán más térségek felé állna fenn hasonló mértékű kockázat”. A harmadik dilemma a fosszilis energiának nyújtott támogatások kérdése, amelyek „percenként (!) 11 milliárd dollárt tesznek ki”.

A beruházási rendeletben a megújuló energiák támogatása kiemelt szerepet kap: az agrárágazat fejlesztése biztosítja az élelmiszer-ellátás biztonságát, hozzájárul a környezet állapotának javításához, és segíti az *Európai zöld megállapodás* célkitűzéseinek megvalósítását. Az erdőgazdálkodás célja a fenntartható erdőgazdálkodás, a biomassza-alapú energiahasznosítás és az ökoturizmus fejlesztése, valamint a megújuló energia alkalmazása az állami és önkormányzati épületekben. Mindez hozzájárul az üzemeltetési költségek csökkentéséhez, így közvetett vagy közvetlen módon az államháztartás terheinek mérsékléséhez a rezsiköltségek finanszírozása révén.

Nukleáris energia

A *World Nuclear Industry Status Report*ban olvashatjuk az alábbi alapvetést: az atomenergia fejlesztés lassú és drága, ugyanakkor elengedhetetlen a fosszilisenergia-termelés kiváltásához. Az éghajlatváltozás miatti átálláshoz a legolcsóbb és leggyorsabb stratégiákat kell választani, figyelemmel egy adott ország földrajzi fekvésére és a társadalmi elfogadásra.¹⁵

Magyarország egyetlen működő atomerőműve, a paksi, 4 darab VVER 440/213 típusú 500–500 MW teljesítményű blokkal rendelkezik, 2021-ben az éves bruttó teljesítménye 15 987,7 GWh volt. A Paksi Atomerőmű hozzájárulása az éves áramtermeléshez ~50%. Az erőmű blokkjainak üzemideje a 2030-as években lejár, ezzel párhuzamosan 2 db VVER-1200-as¹⁶ erőművi blokkot alakítanak ki (Paks II.). Az erőművet tulajdonló Magyar Villamos Művek Zrt. saját forrásból a jelenlegi erőmű blokkjainak üzemidejét 2037-ig meghosszabbította,

¹⁴ POGÁTSA 2022: 2–3.

¹⁵ ASBOTH 2019.

¹⁶ 3+ generációs, nyomottvízes blokkok teljesítménye 1200 MW, a blokkok elvárt üzemideje minimum 60 év. A reaktorokat kettős falú vasbeton konténment (hermetikus védőépület) veszi körül, amely egyrészt véd a külső veszélyektől (például tűz, extrém meteorológiai viszonyok, repülőgép-beccapódás), másrészt képes megakadályozni, hogy egy baleset során radioaktív szennyeződés kerüljön a környezetbe. A biztonsági berendezéseket négyeszeres redundanciával tervezik, ami azt jelenti, hogy a biztonsági funkciók ellátására szolgáló rendszerek esetében az üzemelő rendszer mellett három tartalék rendszer is található.

így az 1. blokk 2032-ig, a 2. blokk 2034-ig, a 3. blokk 2036-ig, a 4. blokk 2037-ig termelhet villamos energiát.¹⁷

A beruházási rendelet a Paks II. beruházásról, annak is a megépítésével kapcsolatban rögzíti: a Paks II. projekt célja, hogy a lehető legrövidebb idő alatt biztonságosan üzemelő atomerő épüljön, amely a következő évtized elején elkezdheti a termelést. A 2023. augusztusi előkészítési szakasz lezárulásával a fizikai építkezés megkezdődhetett. Kapcsolódó célok: lakhatási és infrastrukturális feltételek biztosítása, térségfejlesztés, közszolgáltatások és közösségi fejlesztések elősegítése.

A nukleáris energia mint megoldás szintén importfüggő helyzeteket idéz elő, azon egyszerű oknál fogva, hogy

„az utóbbi évek meghatározó urániumkitermelőit, illetve exportőreit, ott ismét csak rendkívül instabil országokat találunk; a bányászatot tekintve Kazahsztán, Ausztrália, Namíbia, Kanada, Üzbegisztán, Niger, Oroszország vezette a listát 2020-ban. A két stabil ország, Ausztrália és Kanada mindösszesen a globális export ötödét teszi ki.”¹⁸

Biztonsági kérdés az atomerőművekkel kapcsolatban a terrorfenyegetés, repülőgépes öngyilkos merényletek vagy a véletlen repülőgép-balesetek, kibertámadások és háborús cselekmények elleni védelem biztonságtechnikai kialakítása, fenntartása. Ugyanakkor mivel vízigényes technológiáról beszélünk, üzemeltetői kérdés például a hűtővíz biztosítása, illetve magyarországi olvasatban a Duna alacsony vízszintje miatti kitettség. A megfelelő mennyiség mellett másik kihívás az atomerőművek hűtővizének visszavezetése az ökoszisztémába.¹⁹ Rátky István egyik cikkében saját mérési tapasztalatainak eredményeként állítja, hogy az atomerőmű hűtése ökológiai károsodás nélkül valószínűleg nem megoldható.²⁰ A hatályos szabályozás, vagyis az atomenergia alkalmazása során a radioaktív kibocsátásokról a levegőbe és vízbe, és azok ellenőrzéséről szóló 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet 10. § (1) bekezdése rögzíti:

„kiemelt létesítmény esetén a felszíni vizek és víztartó képződmények hőszennyezés elleni védelme érdekében

- a) a kibocsátásra kerülő és a befogadó víz hőmérséklete közötti különbség 11°C-nál, illetve +4°C alatti befogadó víz hőmérséklet esetén 14°C-nál nem lehet nagyobb;
- b) a kibocsátási ponttól folyásirányban számított 500 m-en lévő szelvény bármely pontján a befogadó víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 30°C-ot.”

Itt kívánom megjegyezni, hogy Szijjártó Péter külgazdasági és külügyminiszter az Országgyűlés Fenntartható Fejlődés Bizottsága meghallgatásán 2024. november 13-án ezzel kapcsolatban a következőket mondta: a paksi telephelyet eredetileg is hat blokkos üzemre tervezték, így alaptalan az az állítás, miszerint meglévő négy mellé épülő két új blokk elviselhetlen

¹⁷ MVM Integrált jelentés 2021: 19.

¹⁸ POGÁTSÁ 2022: 3.

¹⁹ FÜSTÖS–ERŐS–JÓZSA 2022: 1.

²⁰ RÁTKY 2014: 15.

terhelést jelentene a Dunára nézve. A Paks II. műszaki tervei alapján a melegvíz-csatorna két pontján alkalmazott hűtőcellás megoldással már közvetlenül a kibocsátási pontnál is képesek leszünk tartani az előírt hőmérsékleti korlátot. Ezzel nemcsak a jogszabályban rögzített, 500 m-rel lejjebb található szelvénynél, hanem már a beömlésnél megfelelünk az előírásoknak. A beruházás keretében ennek biztosítására egy részletes korlátozási tervet is kidolgozunk.²¹

Az erőművi és a nemzetgazdaság számára kiemelt termelő beruházások (például akkumulátorgyárak) szempontjából sem elhanyagolhatók a vízgazdálkodás kérdései.

A vízgazdálkodás problémái

Biztonsággal összefüggő kérdésként tekintjük a vízkészlet-gazdálkodás és ehhez kapcsolódón az ár- és belvízvédelem aspektusait, valamint a szennyvízkezelést.

A *Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégia* (Keretstratégia) a vízellátással kapcsolatban rögzíti, hogy „felszín alatti vízkészletünk európai viszonylatban kiemelkedő jelentőségű, az ivóvízellátás 95%-a felszín alatti vízből történik, kiválóak a termálvizekkel kapcsolatos adottságaink”.²² A Keretstratégia külön említi az úgynevezett rétegvíz minőségi kérdését, ami kihat a lakossági vízellátás biztosítására.²³

A vízügyi területre léteznek hazai és nemzetközi szabályozók, keretdokumentumok, úgymint az *EU Víz Keretirányelv* és a végrehajtásként elkészített és 6 évenként felülvizsgálandó úgynevezett *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv*, az *Árvízi Irányelv* és a végrehajtásként elkészített *Árvízi Országos Kockázatkezelési Terv*, a 2017-ben elfogadott *Nemzeti Vízstratégia*, a *Kvassay Jenő Terv*.

Biztonsági kérdés azonban az aszályos időszakokban rendelkezésre álló vízmennyiség kérdése lakossági fogyasztásbiztosítás, mezőgazdasági öntözés vagy ipari felhasználás céljából.

Az éghajlatváltozás miatt a vízkészletek csökkenése prognosztizálható, ugyanakkor a szárazabb nyári időszakokban többletöntözési igény jelentkezik, ebből következően pedig az alföldi régióban a vízhiány állandósulására lehet számítani. Az ipari felhasználás esetében a nem elegendő vízmennyiség kihat többek között az atomerőmű-hűtésre, illetve a vízigenyes akkumulátorgyártás biztonságára.

Összefoglalva az éghajlatváltozás hatását a vízellátásra és a vízgazdálkodásra, a 2. táblázatban foglaltakat rögzíthetjük.

²¹ Lásd: https://www.youtube.com/watch?v=Sa7p2xY8V_8, kivonatolva a Clarity Summery 2024. Sparticle Inc. alkalmazással, 2024. november 14.

²² Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégia 2013: 135.

²³ Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégia 2013: 136.: „A rétegvizek jelentős részének természetes minősége nem felel meg az ivóvíz-minőségi előírásoknak: a probléma több száz település ivóvízellátását érinti. A közüzemi vízművek által termelt víz mintegy kétharmada sérülékeny ivóvízbázisból származik.”

2. táblázat: Az éghajlat-változás miatti hatások

| Jelenség | Következmény, hatások | Gazdasági hatások |
|------------------------------------|--|---|
| Aszály | Mezőgazdasági teljesítmény csökkenése, élelmiszer-termelés csökkenése | Importnövekedés |
| | Öntözővíz csökkenése | Víztermelés költségnövekedése |
| | Turizmust érintő kedvezőtlen időjárási jelenségek | Nemzetgazdasági turisztikai bevétel csökkenése |
| | Vizes élőhelyek csökkenése, folyószint csökkenése | Ipari létesítmények (pl. atomerőmű) vízellátás-biztosításának többletköltsége |
| | Pozitív hatás: hatékony vízgazdálkodásra való átállás, tudatos vízminőség-védelem | Közép és hosszú távú megtakarítás versenyelőnye |
| Ár- és belvíz, villámárvíz | Magasabban tetőző árhullámok veszélye | Záportározók, műtárgyak, árvízi védvonal építésének és fenntartásának emelkedő költsége |
| | Nagyobb területet is érintő tartós belvízi jelenségek | |
| | Villámárvíz okozta károk | |
| Felszíni, föld alatti vízkészletek | Országhatáron túlról érkező vizek okozta hatások (többletvíz vagy kevés víz kérdése) | Tározókapacitások, vízmegtartás költségei |
| | Jelentős párolgás, tározás nélkül hasznosítható felszíni vízkészlet csökkenése | |
| | Felszín alatti vizek utánpótlásiképesség-csökkenése | |
| | Kiseb tavak, vízfolyások kiszáradása (ideiglenesen, tartósan) | |
| | Föld feletti és föld alatti vízkészlet csökkenése, ivóvízellátásra gyakorolt hatások | Víztermelés költségnövekedése |
| | Hajózási útvonalak alacsony vízállás miatti kiesése, használhatatlansága | Folyószabályozási, vízszintnövelő beruházások (pl. fenékküszöb) |
| Vízminőség | Szennyezőanyag-terhelés növekedése a hazai vízhozamok csökkenése okán | Szennyvízkezelés költségnövekedése |
| | Oxigén és öntisztuló képesség csökkenése | Vízisztítás költségnövekedése |
| Csapadékvíz-gazdálkodás | Intenzívebb csapadékhullás | Csatornázás miatti, illetve a csapadékvíz-gazdálkodásra való áttérés többletköltsége |
| | Gyors levezetés okozta műszaki problémák | Csapadékvíz-megtartás, -tározás lehetőségének többletköltsége |
| | Városi zöldfelületarány csökkenése | Mikroklímára gyakorolt beruházási többletköltség |
| | Városban lezajló villámárvíz | Előntés okozta károk, infrastruktúra-védelem többletköltsége |

Forrás: a szerző készítette

A beruházási rendelet a V. *Vízügy* fejezetében a következőket rögzíti:

„A vízügyi szakterület feladata a hidrometeorológiai és vízjárási viszonyok függvényében az állami tulajdonú vizek és vízellátási létesítmények működtetése, fenntartása. Feladat a vízvisz-szatartás és vízszétosztás a vizeink jobb hasznosítása, a gazdaság-támogató vízgazdálkodás, a kockázatmegelőző vízkárelhárítás, a vizek állapotának fokozatos javítása, a minőségi víziköz-mű-szolgáltatás és minőségi csapadékvíz-gazdálkodás érdekében.”

A magyarországi energiabiztonság makrogazdasági hatásai és fejlesztési finanszírozhatósági lehetőségek

A Klímaterv az energiabiztonságra vonatkozóan meghatároz ügynevezett importfüggőségi korlátokat/plafonokat mind a kőolajra, mind a földgázra, illetve a villamos energiára. Ezek mértékét a kőolaj esetében 70%-ban, földgáz esetében 85%-ban, míg a villamos energia vonatkozásában 20%-ban limitálják. A 23/2018. (X. 31.) OGY határozattal a Parlament által elfogadott, a 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia legfőbb pontjai és vállalásai:

- bruttó üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentésének mértékét az 1990-es kibocsátáshoz képest 2050-ig 52–85% közötti kell elérni;
- a stratégián belül megfogalmazták a Hazai Dekarbonizációs Útiterv mellett a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégiát, illetve a Partnerség az Éghajlatért Szemléletformálási Tervet is.

Kérdésként vetődik fel, hogy milyen ágazati fejlesztési irányok prognosztizálhatók, és azok milyen költségekkel valósíthatók meg az ágazati stratégiákban meghatározott időpontokig. A párizsi klímaegyezményben a finanszírozásra vonatkozóan a következőket olvashatjuk: „a pénzügyi források áramlása összhangban álljon az üvegházhatású gázok alacsonyabb szintű kibocsátására és az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség fejlesztésére irányuló erőfeszítésekkel.”²⁴

Lentner Csaba szerint: „a világ országai most aszerint lesznek versenyképesek, vagy nem, hogy mennyit tudnak az adatgazdaságra, az online rendszerekre fordítani, a zöldgazdaságra, az energiatakarékosságra, a robotizációra milyen gyorsan tudnak átállni.”²⁵

A kérdés csupán az, milyen ambíciószinten vagyunk képesek a meghatározott célokat végrehajtani, illetve milyen végrehajtási programokat, forrásokat vagyunk képesek és hajlandók a célokhoz rendelni. Kiindulva a Thorpe²⁶-féle hármas egységből, vagyis a stratégia–taktika–logisztika egységből, fontos tisztában lenni a célokkal, a kiinduló állapot és lehetőségek feltérképezésével és a fejlesztési lépések ütemezhetőségével. Alapkérdés az, hogy figyelemmel az energiatervezés szintjeire, vagyis az országos, a települési, a termelő vállalat, illetve

²⁴ Párizsi megállapodás 2015. 2. cikk c) pont.

²⁵ JÁRDI 2023: 3.

²⁶ THORPE 1917: 139.

az épületszintekre, milyen költséggel, mennyi időn belül és milyen komplex infrastruktúra átalakítás után, vagy azzal párhuzamosan valósítható meg. A hatályos energetikai cselekvési tervek, illetve az energetikáért felelős ágazati irányító minisztérium(ok) folyamatosan végeztek energiaágazati elemekre, területekre vonatkozó, úgynevezett beruházási költségbecsléseket.

A *Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia 2020–2050* című dokumentumban jelzett energetikai projektek költségbecslése a 3. táblázatban látható.

3. táblázat: Energetikai beruházások számított költsége

| Ágazat/fejlesztési irány | NTFS számításai |
|---|---|
| Az energiaágazat klímaselegetése, ideértve az épületek energiahatékonysági korszerűsítését, a villamosenergia-infrastruktúra fejlesztését, a szolgáltató szektor hatékonyságnövelését, valamint a közlekedési szektor elektrifikációját | 22 391 Mrd Ft |
| A mezőgazdaság, ideértve az állattenyésztés, a növénytermesztés és a talajok műveléséből származó kibocsátások csökkentésével kapcsolatos beruházások | 745 Mrd Ft |
| A hulladékgazdálkodás fejlesztése és a körforgásos gazdaság elősegítése | 480 Mrd Ft |
| Az ipar gyártási folyamatainak korszerűsítése, termelési hatékonyságnövelés | 129 Mrd Ft |
| A LULUCF27-ágazat CO ₂ -elnyelő kapacitásának fokozása | 964 Mrd Ft |
| Összesen | 24 709 Mrd Ft (61,7 Mrd EUR – 400 Ft/EUR számolva) |

Forrás: Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia 2020–2050: 102 költségbecslése alapján

A nukleáris termelőkapacitások szinten tartása mind az energiatermelés folyamatos biztosítása, mind a dekarbonizáció végrehajtása okán kulcsfontosságú.

Az atomerőművi beruházási költségek az alábbiak szerint alakulnak:

- Paksi Atomerőmű blokkjának üzemidő-hosszabbítás²⁸ költségei ~1 milliárd euróra²⁹ tehető.
- Paks 2 beruházás tervezett költsége a 2014. december 9-én megszületett megvalósítási megállapodás alapján 12,5 milliárd euró.³⁰
- Külön tétel a 2037 után leszerelendő erőmű költsége. A Központi Nukleáris Pénzügyi Alap beszámolóit áttanulmányozva ez a folyamat 2084 utánra tehető, ennek költsége ~5 milliárd euró.

²⁷ LULUCF rendelet: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11494-2016-INIT/hu/pdf>

²⁸ Megkötötték október elején a legfontosabb szerződéseket, amelyek alapján három évig tartó munka kezdődhet az üzemidő-hosszabbításra vonatkozóan. Az Országgyűlés tavaly decemberben döntött úgy, hogy elindulhat az erőműben a blokkok második üzemidő-hosszabbítását célzó projekt. Ha mindez sikerrel jár, a blokkok 70 évig szolgálják a hazai fogyasztókat, amelyek 2052–2057 között állnak le. Forrás: GAZSÓ 2023: 3.

²⁹ Lásd ASZÓDI 2022: 14.

³⁰ Paks II. [é. n.]: 12.

Megjegyzem, a Magyar Villamos Művek Zrt. (MVM) által bemutatott, az *MVM Csoport stratégia 2024–2035* anyagában³¹ megjelenik 2025-ig az úgynevezett SMR,¹ vagyis a *small modular reactor* technológia alkalmazása a termelési portfólióban. Az MVM 300 MW nagyságrendű ilyen termelő kapacitást tervez kiépíteni 2035-ig.

A 2023. február 9-én Sopronban tartott kormányülésen,³² illetve az előbb meghatározott és elemzett feladatokkal összefüggésben – az energetikai fejlesztések kapcsán – komplex ágazati fejlesztési irányokat és feladatokat határoztak meg, amelyekből a 4. táblázatban bemutatott fejlesztési lista állítható össze.

4. táblázat: Az energetikai beruházások számított költsége

| | |
|--|--|
| <p>Villamosenergia-szektor érintő beruházások</p> <ol style="list-style-type: none"> Villamosenergia-hálózat fejlesztése, a villamosenergia-hálózat digitalizálása a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.-nél és a Magyar Villamosművek Zrt.-nél 2030-ig egymillió okosmérő telepítése Paks I. üzemidő-hosszabbítás és Paks II. beruházás megvalósítása <p>Kőolaj- és földgázszektor érintő beruházások</p> <ol style="list-style-type: none"> Adria-vezeték kapacitásának bővítése – a jelenlegi 70–80%-os kapacitásnövelése A Dunai Finomító átalítása, többféle forrásból származó kőolaj feldolgozására való felkészítése Energiaszuverenitás növelése a belföldi szénhidrogén-kitermelés növelésével Földgázhálózat fejlesztése, illetve a gáztárolók ellátásbiztonsági beruházásainak végrehajtása | <p>Lakossági energiaprojektek</p> <ol style="list-style-type: none"> A középületek energiahatékonysági fejlesztésének felgyorsítása Lakossági energiahatékonysági beruházások támogatása <p>Vállalkozásokat érintő projektek</p> <ol style="list-style-type: none"> Zöldtechnológiák alkalmazásának fokozása – ami elsősorban a meglévő ipari folyamatokban az üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentését jelenti A vízközművek ellátásbiztonsági célú energiahatékonysági beruházásainak végrehajtása – ipari parkok ellátásának fokozása érdekében Vállalkozások energiahatékonysági fejlesztése, a hidrogén-előállítás, az energetikai kutatás, az innováció és mintaprojektek támogatása <p>Közlekedési szektor érintő beruházások</p> <ol style="list-style-type: none"> A vasúti gördülő állomány villamosítása, elektromos buszok beszerzése, elektromobilitás Az évtized végére reális tervként a hidrogénmeghajtású buszok és nehézgépjárművek beszerzésének támogatása |
|--|--|

Forrás: a szerző szerkesztése

2023 júliusában a Kormány bemutatta a *REPowerEU* tervezetcsomagját³³ arról, hogy mire költené az Európai Unió által biztosított azon forrásokat, amelyeket a zöldítés mellett hangsúlyosan az orosz energiáról való leválásra lehet felhasználni. A 2023. február 9-én Sopronban tartott kormányülésen elhangzottak és a *REPowerEU* 6. oldalán vázolt program 2600 milliárd forintos energetikai beruházást jelent.³⁴

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2023. május 25-i jelentése szerint

31 MVM Csoport stratégia 2024–2035 [é. n.]: 18.

32 Magyarország Kormánya 2023.

33 Magyarország Helyreállítási és Ellenállóképességi Terve REPowerEU-fejezet.

34 2024 elején indult egy 649,14 milliárd forint keretösszegű pályázati időszak, amely célzottan tartalmazza az elektromos autó beszerzést (40 milliárd forint), flottaszolgáltatói pályázati elemet (20 milliárd forint), a kapcsolódó töltőhálózat-fejlesztést (20,1 milliárd forint), vállalkozások energiahatékonysági fejlesztését (175,49 milliárd forint), földhőhasznosítási pályázatokat (159,58 milliárd forint), valamint lakossági energiahatékonysági fejlesztéseket (224 milliárd forint). B. H. L. 2024.

„körülbelül 2800 milliárd dollárt fektetnek be globálisan az energiába 2023-ban, amelyből várhatóan több mint 1700 milliárd dollárt fordítanak tiszta technológiákra – beleértve a megújulókat, az elektromos járműveket, az atomenergiát, a hálózatokat, a tárolást, az alacsony kibocsátású üzemyagokat és a hatékonyság javítását.”³⁵

Fatih Birol, az IEA ügyvezető igazgatója ugyanitt elmondja: „Minden fosszilis tüzelőanyagba fektetett dollár után körülbelül 1,7 dollárt fordítanak tiszta energiára. Öt évvel ezelőtt ez az arány 1 : 1 volt. Az egyik ékes példa a napenergiába való befektetés, amely most először haladja meg az olajtermelésbe szánt beruházások mennyiségét.”

2023 szeptemberében felülvizsgálták a *Klímatervet*. A 2020-as verzióhoz képest a 2023-ban felülvizsgált *Klímaterv* az alábbi főbb, ambiciózusabb vállalásokat és célkitűzéseket foglalja magába. Legfőbb célkitűzés „az energiaszuverenitás és az energiabiztonság megerősítése, a rezsicsökkentés eredményeinek fenntartása, valamint a dekarbonizáció.”³⁶ Főbb vállalásai:

- „üvegházhatású gázkibocsátás csökkentés 50% (hatályos Klímaterv szerint 40%),
- végső energiafelhasználás legfeljebb 750 PJ (hatályos Klímaterv szerint 785 PJ),
- végső energia megtakarítás 336 PJ halmozott megtakarítás,
- megújuló energia részaránya 29% (hatályos Klímaterv szerint 21%).”³⁷

A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal *Az energiahatékonyság sokrétű, járulékos előnye*³⁸ című anyagában megjelenik a *multiple benefits*,³⁹ vagyis az energiahatékonyság sokrétű előnyei.

Áttekintve a tanulmányt, az alábbi megállapítások tehető, ágazatok, szektorok és feladatok szempontjából:

- EU szinten 2030-ig 1,615 TWh energiamegtakarítás lenne elérhető évente az úgynevezett COMBI projekt révén, 133 milliárd euró befektetését követően.
- Az orosz–ukrán háború következményeként felértékelődött az energiabiztonság és az energiahatékonyság fontossága. Számszerűen, a „Cambridge Econometrics számításai szerint az uniós energiahatékonysági célok 14,5%-kal történő növelése az Európai Unió fosszilis tüzelőanyagok importjára fordított kiadásait 12,2%-kal csökkentené 2030-ra, mintegy 38 milliárd euró megtakarítást eredményezve”.⁴⁰
- Államháztartási oldalról az energiahatékonysági beruházások révén elérhető előnyökkel kapcsolatban megállapítja: „az önkormányzatok és kormányzati intézmények épületeik felújításával kevesebb rezsizsámlát fizetnek, másrészt a magasabb

³⁵ IEA 2023: 1.

³⁶ Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évi felülvizsgált változat 23.

³⁷ Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évi felülvizsgált változat 35. táblázat alapján.

³⁸ Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal 2023: 2.

³⁹ A *multiple benefits* kifejezés az energiahatékonyság olyan járulékos előnyeit jelenti, amelyek túlmutatnak a közvetlen energiamegtakarításon. Ezek közé tartoznak a gazdasági előnyök (munkahelyteremtés, versenyképesség növelése), környezeti hatások (szén-dioxid-kibocsátás csökkentése), társadalmi előnyök (jobb életminőség, egészségügyi javulás), valamint az energetikai biztonság erősítése és a szociális egyenlőség előmozdítása.

⁴⁰ ALEXANDRI et al. 2022.

értékű energiahatékony termékek után magasabb áfa, az értékesebb ingatlanok magasabb ingatlanadójaival az önkormányzat több bevételre tehetnek szert”.⁴¹

A Magyar Energetikai és Közműellátásügyi Minisztérium 2021-es (lakossági reprezentatív felmérésre épülő) tanulmánya az államháztartási előnyöket az alábbiakban összegezi: egy 40%-os vissza nem térítendő állami támogatás esetén

- közel 950 ezer darab lakás korszerűsítés lenne megoldható, amely
- közel 500 milliárd forint államháztartási bevételt eredményezve 5 év alatt, ami nagyrészt az áfa (259,12 Mrd Ft) és az egyéb munkabér közteher (163,61 Mrd Ft) révén lenne elérhető, illetve ennek révén
- közel 30 ezer új munkahely létrejöttével.⁴²

A Kormány előzetes várakozása alapján a *Klímaterv*ben foglalt intézkedések éves szinten nagyságrendileg 600 milliárd forint – a megtakarításokban döntő részben már rövid távon megtérülő – fejlesztést jelentenek a magyar energetika és a lakossági energiahatékonyági piac javára. Ebből is látható, hogy a kormányzati tervek, stratégiai elképzelésekhez képest mindig lehet találni olyan koncepciót, amely nagyobb fordulatra kapcsolná az energetikai szerkezetváltást a klímasemlegesség érdekében.

A már idézett Szijjártó Péter külgazdasági és külügyminiszter az Országgyűlés Fenntartható Fejlődés Bizottsága meghallgatásán 2024. november 13-án ezzel kapcsolatban a következőket mondta:

„2023-ra 1990-hez képest 37%-al csökkent a károsanyag kibocsátás Magyarországon [...] két energiatermelési forma felel meg leginkább a versenyképes ár és a környezetvédelmi szempontok követelményének, ez pedig a napenergia és a nukleáris energia [...] ma Magyarországon a villamosenergia termelésnek a 65,5%-a karbonsemleges, és ennek a karbonsemleges hányadnak a 70%-át adja az atomenergia [...] EU-szakértők szerint 2030-ig mindegy 50%-kal fog nőni a villamosenergia igény az európai kontinensen [...] Magyarországon a villamosenergia-termelésben a szén-dioxid-kibocsátás 2010-hez képest 53%-kal csökkent [...]; volt egy célkitűzésünk 2030-ra a napenergia tekintetében haladjuk meg a 6000 MW kapacitást, 2040-re pedig a 12 000 MW kapacitást [...] a helyzet az, hogy a 2030-ra kitűzött cél tavaly év végére teljesült, így a 2040-re kitűzött célt előre hoztuk 2030-ra.”⁴³

A magyarországi energiarendszer átalakításával kapcsolatban manapság nem az a kérdés, hogy meg kell-e valósítani, illetve hogy megvalósítható-e, mert erre a szakemberek válasza egyértelműen az, hogy igen.

2024. november 4-én jelent meg a magyar Kormány új, középtávú költségvetési-strukturális terve (középtávú terv), amelyet az EU túlzottdeficit-eljárásának kezelésére adott

⁴¹ Magyar Energetikai és Közműellátásügyi Minisztérium 2021: 4.

⁴² Magyar Energetikai és Közműellátásügyi Minisztérium 2021: 34. 6. táblázat alapján.

⁴³ Lásd: https://www.youtube.com/watch?v=Sa7p2xY8V_8, kivonatolva a Glarity Summery 2024. Sparticle Inc. alkalmazással, 2024. november 14.

ki a kormányzat. Ebben a GDP-növekedésre a magyar gazdaság 2024-ben 0,8%-kal, míg 2025-ben 3,4%-kal növekszik, amihez 2026-tól 4%-ot meghaladó ütem társulhat. A középtávú terv megállapítja: „Az orosz–ukrán háború nyomán kialakuló geopolitikai feszültségek, a szankciók, az energiaválság, magas inflációs nyomás és visszafogott külső kereslet együttes, elhúzódó hatásaként 2023 egészében 0,9%-kal mérséklődött a GDP”. Az energiaárak emelkedésével kapcsolatban megjegyzi: „érdemi állami szerepvállalást tesz szükségessé a rezsiköltségek alacsonyan tartása érdekében”, vagyis a költségvetésben ennek ellentételezését továbbra is tervezni szükséges, még ha az energiaárak csökkenése miatt csökkenő mértékben is. A 2023 végén végrehajtott kis- és középvállalkozói stratégia újragondolása tartalmazza többek között a „technológiai és szervezeti megújulás előmozdítását, a kettős átálláshoz szükséges digitalizációs és energiahatékonysági beruházások megvalósulását elsősorban többféle hitelprogrammal, a leghátrányosabb helyzetű térségekben pedig vissza nem térítendő támogatással” kell hogy a kormány támogassa. A GDP-növelés érdekében a lakáspolitikai és az ehhez, valamint a gazdaság többi szektorához kapcsolódó energiahatékonysági beruházások támogatása prioritásként szerepel a következő évek gazdaságpolitikájában, lásd a csok-kezdemenyvezések (CSR 2023 1.7), valamint az egyebek mellett energiahatékonysági intézkedéseket is támogató Felzárkózó Települések Program (FETE), a Magyar Falu Program (CSR 2024 1.6; 2023 1.6; 2023 1.7; 2022 6.5.), a földgáz felhasználásának csökkentése (CSR 2023 4.7) intézkedéseit.

A kiadások ellentételezésére a nemzeti önerőn felül az alábbi EU-s⁴⁴ forrásallokáció lehetséges:

- 2021 és 2030 között – tonnánkénti 25 eurós átlagos CO₂-árat feltételezve – mintegy 840 milliárd forintos kvótabevétel tervezhető.⁴⁵
- A kvótabevételeket egészíti ki a Modernizációs Alap⁴⁶ 184 milliárd forint forrása.
- EU-források:⁴⁷
 - kohéziós célú támogatások: 21,73 milliárd euró;
 - Helyreállítási Eszköz⁴⁸ vissza nem térítendő része: 7,17 milliárd euró;
 - Igazságos Átmenet Alap: 0,25 milliárd euró;
 - közvetlen uniós programok becsült nemzeti részaránya: 1,73 milliárd euró.

Az EU 2021–2027 költségvetési időszaka jelentős forrásokat allokál a zöldcélokra, de újszerű finanszírozó elemként tekint a magántőke ilyen irányú mozgósítására. Kulcsszerepet

⁴⁴ 2021 és 2030 között a zöldátállítás és a klímacélok elérésének finanszírozására Magyarország által elérhető uniós források összege meghaladhatja az 3500 milliárd forintot. Forrás: Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia 2020–2050 111. költségbecslése alapján.

⁴⁵ Nemzeti Energiastratégia 2030 2012, kitekintéssel 2040-ig 2020: 66.

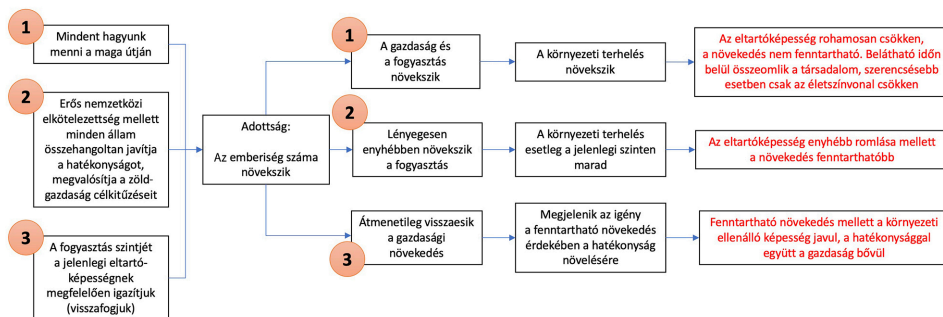
⁴⁶ A 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv 10d. cikke szerinti finanszírozási mechanizmus.

⁴⁷ Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia 2020–2050, 109. költségbecslése alapján.

⁴⁸ Magyarország Helyreállítási és Ellenállóképességi Tervének célja elsősorban a koronavírus-járvány gazdasági és társadalmi hatásainak ellensúlyozása, illetve a gazdaság ellenálló képességének, fenntarthatóságának és a zöld- és a digitális átmenettel kapcsolatos kihívásokra és lehetőségekre való felkészültségének a növelése. A bizottsággal való konstruktív tárgyalások során véglegesített magyar terv 2026-ig összesen 2300 milliárd forintnyi stratégiai fejlesztési projektet foglal össze. Ebből 492 milliárd forint az Energetikai komponens (zöld-átállítás) keretében megvalósítani tervezett beruházások támogatására áll rendelkezésre.

játszik ebben az úgynevezett Taxonómiarendelet,⁴⁹ amely fő célja, hogy EU-szinten meghatározzák azon beruházásokat, befektetéseket, amelyek fenntarthatónak minősíthetők, vagyis kimondott cél a klímasemleges beruházások helyzetbe hozása. (Megjegyzem, ennek keretében lett zöldnek, vagyis fenntarthatónak minősítve a gáz- és atomenergia-ágazatok bizonyos tevékenysége.⁵⁰)

2012-ben az Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány tanulmányában három lehetséges forgatókönyvet vázol az energiarendszerek átalakításáról (1. ábra).



1. ábra: Forgatókönyvi modell az energiarendszerek makrogazdasági hatásaira

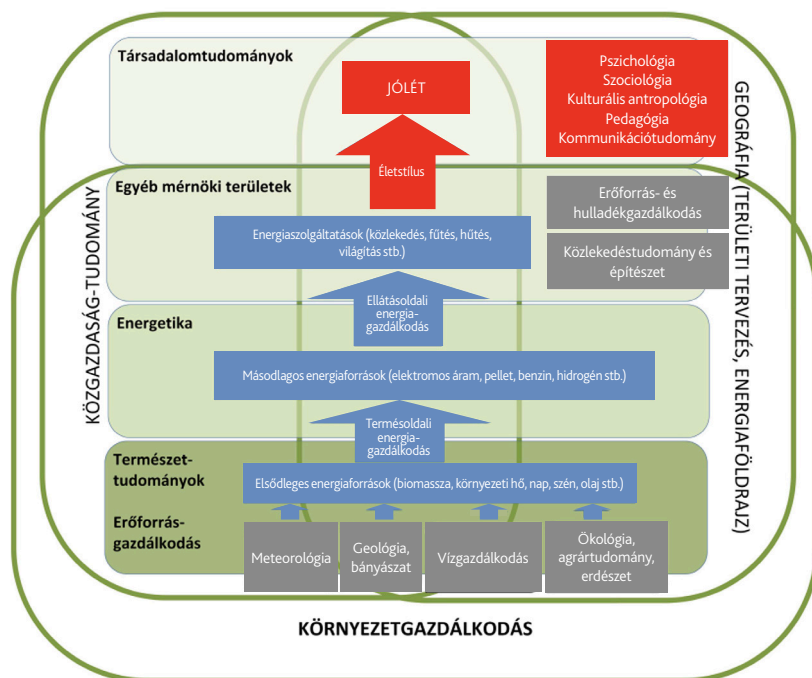
Forrás: Készítette a szerző az Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány 2012: 91–92. alapján

A vázolt három forgatókönyvben az emberi tényező, illetve a takarékoság versus hatékonysági kérdések vizsgálata adhat egy lehetséges irányt. Az energiagazdálkodás fogyasztói szempontból vizsgálандó alanya az ember. Az ember, akire hat az elérhető és megfizethető energiabőség vagy -hiány állapota, illetve, akinek képesnek és hajlandónak kell lennie változtatni, akár olyan szintig is, hogy felad bizonyos mértékben a mostani kényelméből a jövő érdekében. A társadalomnak el kell döntenie, hogy milyen viszonyt kíván fenntartani a természettel, közvetve hogyan viszonyul az éghajlatváltozáshoz és az energiakérdésekhez. Ez alapján megkülönböztetünk együttműködő (az ember és természet egymás felé pozitív hatású), semleges (az ember nem gyakorol semmilyen hatást a környezetre, egyfajta „ember nélküli állapot”), valamint ellenműködő (az ember és természet viszonya egymáshoz nem igazodik, kizsákmányoló, jövőfeléllő módon él) módozatokat.⁵¹

⁴⁹ Uniós taxonómia, a fenntarthatósággal kapcsolatos vállalati beszámolás, a fenntarthatósági preferenciák és a vagyonekezelői kötelezettségek: a finanszírozási forrásoknak az európai zöld megállapodás felé irányítása.

⁵⁰ Világgazdaság 2022b: 2.

⁵¹ MOLNÁR 2003: 89–90.



2. ábra: Az energialánc multidiszciplináris megközelítésben

Forrás: MUNKÁCSY 2018: 28

Az 2. ábrán modellezhető energialánc – Jørgen Stig Nørgård 1998-ban írt tanulmánya⁵² alapján – felöleli az energiahordozók kitermelésének, a feldolgozás és előkészítésen át az átalakítás és szállítás teljes vertikumát, valamint a másodlagos energiaforrások felhasználásával biztosított energiaszolgáltatásokat. A hagyományos energiapolitikai „háromszög”, vagyis az energiabiztonság – környezet és éghajlatvédelem – gazdaságosság egyre inkább kiegészül tehát egy sajátos elemmel, az úgynevezett társadalmi elfogadás tényezővel.

A civilizáció nem az életszínvonalát, hanem a technológiai színvonalát növelte,⁵³ írja Grandpierre Attila. A bemutatott energialánc legvégén a jólét, vagyis a fogyasztó (egyéni és közösségi, társadalmi jólétet igénylő egyének csoportja) található. A fogyasztó értelmezése azonban át kell hogy alakuljon, vagyis nemcsak azt az egyént kell hogy jelentse, aki az energiát használja, hanem az is ide értendő, aki a helyi, például a napelemes házban lakik, vagyis aki saját célra termel is. A gyártó és fogyasztó „egyben” az úgynevezett *prosumer*.⁵⁴

⁵² NØRGÅRD 1998.

⁵³ GRANDPIERRE 2004: 247.

⁵⁴ CHIKÁN 2021: 2.

A társadalom „igényszintjének” elsődleges mérőszáma napjainkban a megfizethető energia, vagyis az energia ára.

A társadalmi elfogadás jelenti az egyének azon közösségét, akik értik a klímaváltozást, mint problémát, és cselekvő módon képesek és hajlandók ezzel kapcsolatban reagálni, változtatni a szokásaikon és tevékenyen részt venni a folyamatok jobbításában. A lokális cselekvés megjelenése a lakossági, kisközösségi és régiós szinten három fő terület köré csoportosító: az energiamegtakarítás mint elsődleges cselekvés, az energiafogyasztással együtt értendő környezetterhelés csökkentése, valamint a megújuló energiaforrások egyre jobb kihasználása.

Vizsgálандó és értelmezendő tényező a takarékoság versus hatékonyság kérdése. Mászt jelent a takarékoság, és mászt az energiahatékonyság. Leegyszerűsítve, a takarékoság egy meglévő állapotra épülő kisebb energiafogyasztási szint elfogadása és megélése, míg az energiahatékonyság filozófia, egy szocializációs tényezőkre épülő új tanulási és gondolkodásmód.

Első lépés a fogyasztók pontos felmérése, aminek előfeltétele az energiafogyasztás mérhetősége. Ez egybevág a Kormány által meghirdetett 1 millió okosóra és a villamosenergia-hálózat digitalizálása koncepcióval.

A mérhetővé tett energia ismerete kihat a tényleges energiaigények közép- és hosszú távú megtervezésére, ami összefügg az erőművi kapacitások, illetve az importigények tervezhetőségével. Az így begyűjtött adatokhoz kapcsolódik az energetikai és épület- infrastrukturális feltételek pontos megismerésének igénye, mérnöki szinten. A mérnöki szinten ismert infrastruktúra állapotfelmérése alapul szolgálhatna például a hőszigetelési programokhoz, de továbbgondolva az okosváros⁵⁵-konceptióra, a jövő épülettervezés követelményeihez, így akár az egységes energetikai jellemzőkkel rendelkező alaptervek alapjául is szolgálhatnak. Az „okosváros”, vagyis a fenntartható életér infrastruktúrális kialakításának igénye, az urbanizáció folyamatos erősödése, a népességszám növekedése által is felértékelődik a következő évtizedekben. A csökkenő energiafogyasztás révén az energiainport aránya javul a hazai termelés javára, ezáltal az országos energiamix helyzete is.

A zöldátállás kritikussai sokszor mondják, hogy túlságosan sokba kerül, például ha rossz eszközt választunk a GDP „pörgetésére”, mint például Kína, amely nem túl produktív módon „üresen álló” lakóházépítést hajtott végre. Gazdasági haszon, illetve létrejövő gazdasági-társadalmi előnyök:

- Az energiamegtakarításból felszabaduló források pótlólagos fogyasztásiadó-bevételeket jelentenek, illetve a többletfogyasztásból létrejövő munkahelyteremtő beruházások révén új munkahely, ezáltal új szja- és járulékfizetés keletkezik, illetve a munkahely révén létrejövő új fogyasztó szintén fizetni fogja a fogyasztáshoz kapcsolódó adóbevételeket.
- Az energetikai beruházások költségvetési haszna a beruházásokból származó áfa-, szja- és járulékbévételek, valamint a cégadóbevételek.
- A bevételi oldalon megjelenik az EU-s források zöldberuházásokra allokálható része, amely csökkenti a hazai hozzájárulás mértékét. Az úgynevezett zöldkötvé-

⁵⁵ Okosváros: település, amely az integrált településfejlesztési stratégiáját okosváros-módszertan alapján készíti és végzi (314/2012. Korm. rendelet 2. § 5a.).

nyek,⁵⁶ amelyeket a klímavédelmi törvényben határoztak meg szintén pótlólagos forrásként szerepelhetnek.

- További forrásbevonási javaslat lehet a szennyező cégek adóztatásán keresztül megvalósuló forrásbevonás. A Magyar Nemzeti Bank elemzése⁵⁷ alapján: „a zöldadókön belül az energiaadókból származik a legtöbb bevétel az Európai Unióban [...] A környezetterhelési és erőforrásadók azonban mindössze a teljes zöld adóbevétel 4 százalékát adják. [...] Magyarországon (10 százalék) a legmagasabb a környezetterhelési és erőforrásadókból származó adóbevétel aránya a zöld adóbevételeken belül, mivel levegőterhelési, vízterhelési és talajterhelési díj is érvényben van hazánkban.”

Kérdés a szubvencionált energiaár rendszerének fenntarthatósága. A szubvencionált ár nem ösztönöz megtakarításra, és elodázza az ilyen irányú beruházásokat, illetve az erről való társadalmi gondolkodást. Mindemellett makroszinten komoly megterhelést jelent a központi költségvetésnek.

Véleményem szerint közép- és hosszú távon bizonyos ösztönző programként átalakítva az állami energiaár-szubvenciók kivezetése, leépítése igenis szükséges. A szociális alapra épített energiaszubvenciók rendszer újragondolásával párhuzamosan a felszabaduló forrásokat szükséges lenne átcsoportosítani például egy intenzív épületfelújítási-szigetelési programra, illetve a 1990-es évek előtt épített házigyári (panel) épületállomány gépészeti korszerűsítésére. Erre a célra a REPowerEU tervezetcsomagban 224 milliárd forint keretösszegű, 20 ezer ingatlanra tervezett úgynevezett energiahatékonysági beruházás is tervezve van, amelynek célja az éves primer energiafogyasztás 171 GWh-val való csökkentése. Az energiaárzásban szükséges lenne az úgynevezett dinamikus árképzés rendszerét is alkalmazni, amelyet a REPowerEU tervezetcsomag⁵⁸ is tartalmaz, illetve amelyet rugalmas árképzési szerződésnek nevez a hatályos villamosenergia-törvény.⁵⁹

Hol van tehát az a makrogazdasági szempontokat is figyelembe vevő optimum, amikor a gazdasági növekedés mértékének fenntarthatóságával is biztosítani tudjuk az energiacélokhoz való közeledést? Ez az a sarkalatos kérdés, amely új stratégiai, vagyis rendszerszintű változtatást igényelne, ezáltal is biztosítva a társadalmi fejlődés fenntarthatóságát, illetve

⁵⁶ A Zöld Magyar Államkötvény olyan állampapír, amelyet Magyarország a klímavédelmi célú beruházások finanszírozására bocsát ki. A befolyt összeget csak környezetbarát projektekre lehet fordítani, és ezek hatását évente mérni kell. 2020-ban indult euró-, majd jen- és forintalapú kibocsátás. 2022 közepére a zöldkötvények aránya meghaladta a 2,5%-ot a teljes állampapír-állományon belül, és a forrásbevonás várhatóan az 1100 milliárd forintot is elérheti.

⁵⁷ BÖGÖTHY–HAUSMANN 2022.

⁵⁸ „A dinamikus árképzést lehetővé tevő reformhoz gyorsan hozzátette azt a kiegészítést is, hogy ennek »nem a villamosenergia-megtakarítás a fő célja«, hanem az, hogy a rezsidetett tartomány felett az emberek spórolni tudjanak az áramszámlán, mert akkor vesznek majd áramot, amikor az éppen olcsó a piacon, ez pedig a fogyasztói tudatosságot is emelheti.” Portfolió 2023.

⁵⁹ 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról 3. § 52a. pont: „rugalmas árszabást tartalmazó szerződés: a villamosenergia-kereskedő és a felhasználó között létrejött olyan villamosenergia-vásárlási szerződés, amely tükrözi az azonnali piacokon – ideértve a másnapi és a napon belüli piacokat is – jelentkező árváltozást legalább a piaci elszámolás gyakoriságával azonos időközönként”.

a lakossági hajlandóság növelését saját mikrokörnyezetére vonatkozóan bizonyos energia-megtakarításhoz vezető lépések vonatkozásában, önerőből. Ehhez eszközként kell használni bizonyos pénzügyi támogatási rendszert, valamint a globális folyamatok, például az energetikai infrastruktúra decentralizálása és az energiatermelés olyan szintű átalakítását, amely nem okoz térségi és gazdasági övezetre vonatkozóan versenyhátrányt és recesszióba fordulást.

A felülvizsgált Klímaterv számvetést készített⁶⁰ a közeljövő időszakainak beruházási igényeiről. Hogy 2050-re összességében klímasemleges gazdasággal rendelkezünk, ahhoz a 2035-ig az úgynevezett kiegészítő intézkedéseket tartalmazó forgatókönyvekben meghatározottak (WAM-forgatókönyv) többlet beruházási költsége éves szinten nagyságrendileg 500 milliárd forint. Ezzel szemben a beruházások eredményeként csökkennek a működési és a kvótaköltségek, így az éves nettó többletfinanszírozási igény 155 milliárd forint. Az Európai Központi Bank volt elnöke, Mario Draghi által összeállított, az európai versenyképességről szóló jelentésében kimondja, hogy az úgynevezett zöldnövekedésről gondolkodást új alapokra kell helyezni. A jelentés ráerősít a tiszta energia végső soron megvédi Európát az árrobbanásoktól, egyúttal új gazdasági lehetőségeket is kínál. Ugyanakkor megállapítja, hogy az átállás fokozatos lesz, valamint, hogy a fosszilis tüzelőanyagok az évtized hátralévő részében továbbra is központi szerepet játszanak majd az energiaárak kialakításában. Ahhoz viszont, hogy a megújuló energiaforrások nagyobb teret nyerjenek, elengedhetetlen az uniós környezetvédelmi jogszabályok rugalmasabbá tétele.⁶¹

Összegzés: jövőbeli irányok és a következő időszak teendői

A jövőbeli irányok szemléltetésére Lányi András gondolatát idézem:

„A patrióta, zöld gazdaságpolitikára való áttérés előnyei kezdettől fogva képesek ellensúlyozni a világgazdasági függés enyhítéséből származó átmeneti nehézségeket. Kinek is okozna kárt az élelmiszer-önrendelkezés, a rövidebb ellátási láncok, a nemzetközi tőkemozgások csillapítása vagy az ellenőrzés helyreállítása a helyi piacok felett?”⁶²

A következő időszakban összhangba kell hozni a politika által megfogalmazott, a környezetvédők és éghajlatkutatók által jogosan kikényszerített célkitűzéseket és a jóléti társadalmak működésének átalakítását. A fejlődő világban a technológiai fejlődés fókuszát az alapszükségletek kielégítő szintre emelésével egyidejűleg kell a környezetre és a fenntarthatóságra is áthelyezni.

Paradigmaváltás szükséges tehát az éghajlatkutatás és az energiaellátás-biztosítás kutatásában, annak a környezethez, gazdasági és társadalmi fejlődéshez való kapcsolatában. Chikán Attila szerint: „Meg kell találni az új definícióit a növekedésnek, amik megfelelően motiválják a vállalatok tulajdonosait a fenntarthatóság útján, az egyes vállalatoknak pedig

⁶⁰ Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évi felülvizsgált változat 24.

⁶¹ FELDE-TÓTH 2024.

⁶² LÁNYI 2021: 5. fejezet.

a stratégiájukban kell megtalálniuk a fenntarthatósághoz vezető utat." A fenntarthatóság részé az értékláncok átgondolása, az energetikai rendszerek hosszú távú átalakításával összekapcsolva. Pogátsa Zoltán szerint: „Nem tudjuk megúszni azt, hogy áttérjünk egy nem növekedő gazdaságra.”⁶³

A következő évtizedekben Magyarországnak figyelmet kell fordítania a diverzifikált és fenntartható energiaellátásra, miközben a megújuló energiaforrások és a nukleáris energia szerepét erősíti. Az energiabiztonság és energiahatékonyság növelése érdekében az infrastruktúra-fejlesztés, az új technológiák alkalmazása és a zöldgazdaság elősegítése kulcsfontosságú. A költségek és pénzügyi terhek jelentősek lesznek, de megfelelő tervezéssel és befektetésekkel hosszú távon biztosítható a fenntartható és biztonságos energiaellátás.

A lokális közösség, egy település vonatkozásában vizsgálandó kérdéskör a kommunális-hulladék-kezelés okozta veszteség felmérése, amely veszteség ered a nem szelektív gyűjtés okozta közép és hosszú távú gazdasági veszteségből és a hulladék energiatermelésre nem fordításából eredő elmaradó haszonból. További kérdés lehet a szél- és napenergia helyi szintű ösztönzéséből származó hasznosság kérdése. Magyarország termálvízben gazdag, tehát a geotermikus energia hasznosításának kérdése is lehet további vizsgálat tárgya.

Felhasznált irodalom

- ALEXANDRI, Eva et al. (2022): *2030 EU Energy Efficiency Target: The Multiple Benefits of Higher Ambition*. Cambridge Econometrics. Online: https://energycoalition.eu/wp-content/uploads/2021/03/The-2030-EU-energy-efficiency-target_The-multiple-benefits-of-higher-ambition.pdf
- ASBOTH Beatrix (2019): Atomenergia a klímaváltozás elleni harcban. *Euronews*, 2019. szeptember 24. Online: <https://hu.euronews.com/2019/09/24/atomenergia-a-klimavaltozas-elleni-harcban>
- ASZÓDI Attila (2022): Az energia-vészhelyzet felértékelte az atomerőművek szerepét. *Infostart*, 2022. október 28. Online: <https://infostart.hu/interju/2022/10/28/aszodi-attila-az-energia-veszhelyzet-felertekelte-az-atomeromuvek-szerepet>
- B. H. L. (2024): Lendületet adhat az energetikai pályázatoknak az uniós pénzek megindulása – ime hol landolhatnak a pénzek. *Világ gazdaság*, 2024. január 5. Online: <https://www.vg.hu/energia-vg-plus/2024/01/lenduletet-adhat-az-energetikai-palyazatoknak-az-unios-penzek-megindulasa-ime-hol-landolhatnak-a-penzek>
- BÖGÖTHY Zoltán – HAUSMANN Róbert (2022): Új, zöld és fenntartható adórendszer. In *Új, fenntartható közgazdaságtan*. Budapest: Magyar Nemzeti Bank, 173–183. Online: <https://www.mnb.hu/web/sw/static/file/hatteranyag-17.pdf>
- CHIKÁN Attila (2021): Harminc év múlva mi leszünk a tízmillió prosumer országa? *Chikansplanet blog*, 2021. március 12. Online: https://chikansplanet.blog.hu/2021/03/12/harminc_ev_mulva_mi_leszunk_a_tizmillio_prosumer_orszaga
- FELDE-TÓTH Bettina (2024): A Draghi-jelentés szerinti „zöld növekedés”. *Ludovika.hu*, 2024. szeptember 13. Online: <https://www.ludovika.hu/blogok/ot-perc-europa-blog/2024/09/13/a-draghi-jelentes-szerinti-zold-novekedes/2024>
- FÜSTÖS Vivien – ERŐS Tibor – JÓZSA János (2022): A paksi hűtővíz-bevezetés ökohidraulikai értékelése In SZLÁVIK Lajos – KASZÁS Gábor (szerk.): *A Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés dolgozatai*. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság, 1–10.

⁶³ Portfolio 2023: 3.

- GAZSÓ Rita (2023): Indul az atomerőműben az üzemidő-hosszabbítás. *TEOL*, 2023. október 25. Online: <https://www.teol.hu/helyi-gazdasag/2023/10/indul-az-atomeromuben-az-uzemido-hosszabbitas>
- GRANDPIERRE Attila (2004): *Életünk és a mindenséget átható rend*. Budapest: Barrus.
- IEA (2023): *Clean Energy Investment Is Extending Its Lead Over Fossil Fuels, Boosted by Energy Security Strengths 2023*. Online: <https://www.iea.org/news/clean-energy-investment-is-extending-its-lead-over-fossil-fuels-boosted-by-energy-security-strengths>
- JÁRDI Roland (2023): Lentner Csaba: Égetően hiányoznak a helyreállítási alap forrásai. *Világgazdaság*, 2023. május 5. Online: <https://www.vg.hu/vilaggazdasag-magyar-gazdasag/2023/05/lentner-csaba-egetoen-hianyoznak-a-helyreallitasi-alap-forrasai>
- KSH [é. n.]: *Megújuló energiaforrásokból termelt villamos energia aránya*. Online: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/ene0012.html
- LÁNYI András (2021): *Miért nem vesszük észre a nagy változásokat?* Karátson Gábor Kör, 2021. október 11. Online: <https://www.okopolitika.hu/publikaciok/publikaciok/144-lanyi-miert-nem-veszszuk-eszre-a-nagy-valtozasokat>
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (2021): *Energiastatisztika 2021. éves riport*. Online: https://www.mekh.hu/download/8/01/31000/Energiastatisztika_2021.pdf
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (2023): *Az energiahatékonyság sokrétű, járulékos előnyei*. Online: <https://enhat.mekh.hu/energiahatekonysag-sokretu-jarulekos-elonyei>
- Magyar Energiahatékonysági Intézet (2021): *Hazai Felújítási Hullám: a lakóépületek mélyfelújításának ösztönzése szükséges és megéri*. Online: <https://mehi.hu/tanulmanyok/hazai-felujitasi-hullam/>
- Magyarország Kormánya (2023): *Adott az irány az energiabiztonság és az iparfejlesztések terén is*. *Kormany.hu*, 2023. február 9. Online: <https://kormany.hu/hirek/adott-az-irany-az-energiabiztonsag-es-az-iparfejlesztések-teren-is>
- MOLNÁR Géza (2003): *A Tiszánál. Gondolatok a természetről, történelemről*. [H. n.]: Ekvilibrium.
- MUNKÁCSY Béla (2018): *Energiaföldrajz és energiatervezés*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajztudományi Központ Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék. Online: <https://ttk.elte.hu/dstore/document/257132/energiafoldrajz%20tankonyv.pdf>
- MVM Csoport Stratégia 2024–2035 [é. n.]. Online: <https://mvm.hu/-/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/Strategia/MVMCsoportStrategia20242035bemutatasFINAL-HUN20251215.pdf>
- MVM Integrált jelentés 2021. Online: https://mvm.hu/-/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/ESG/HU/2021/MVM_Integralt_Jelentes_2021_infografika.pdf
- Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia (2013). *Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács*. Online: <https://eionet.kormany.hu/akadalymentes/download/1/26/71000/NFFT-HUN-web.pdf>
- Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évben felülvizsgált változat (2023). Magyarország Kormánya. Online: <https://kormany.hu/dokumentumtar/magyarorszag-nemzeti-energia-es-klimaterve-felulvizsgalt-valtozat-tars-egy>
- Nemzeti Energiastratégia 2030 (2012). Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. Online: <https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrategia%202030%20teljes%20valtozat.pdf>
- Nemzeti Tiszta Fejlődés Stratégia 2020–2050. Innovációs és Technológiai Minisztérium. Online: <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/5/54/54e/54e01bf45e08607b21906196f75d-836de9d6cc47.pdf>
- NØRÇÁRD, Jørgen Stig (1998): *Low Electricity Appliances – Options for the Future*. Lund University Press.
- Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány (2012): *A fenntartható fejlődés*. Online: <https://mek.oszk.hu/15500/15563/15563.pdf>
- Paks II. Zrt. [é. n.]: *A projekt háttere*. Online: <https://www.paks2.hu/web/guest/a-projekt-h%C3%A1tterre>
- POGÁTSÁ Zoltán (2022): *Mit mutattak meg az utóbbi idők sűrű válságai?* *g7*, 2022. március 25. Online: <https://g7.hu/vilag/20220325/mit-mutattak-meg-az-utobbi-idok-suru-valsagai/>

- Portfolio (2023): Az emberiség jövőjét fenyegeti a klímaváltozás, de még mindig a fogyasztáson van a hangsúly. *Portfolio*, 2023. szeptember 14. Online: <https://www.portfolio.hu/uzlet/20230914/az-emberiseg-jovojet-fenyegeti-a-klimavaltozas-de-meg-mindig-a-fogyasztason-van-a-hangsuly-639751>
- RÁTKY István (2014): *A paksi atomerőmű dunai hűtővíz hőcsóva háromdimenziós számításának validálása*. MHT XXXII. Országos Vándorgyűlés, Szeged. Online: https://docplayer.hu/12118792-A-paksi-atomeromu-dunai-hutoviz-hocsova-haromdimenzios-szamitasanak-validalasa.html#google_vignette
- Solar Energy Technologies Office (2021): *Solar Energy Technologies Office Updated 2030 Goals for Utility-Scale Photovoltaics*. Online: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-technologies-office-updated-2030-goals-utility-scale-photovoltaics>
- THORPE, George Cyrus (1917): *Pure Logistics: The Science of War Preparation*. Franklin Hudson Publishing Co.
- TÖRŐ Károly (2023): Szakdokumentum: A Lancet Countdown 2022-es európai jelentése az egészség és a klímaváltozás helyzetéről – út az éghajlatváltozáshoz alkalmazkodó jövő felé. *Multidiszciplináris Egészség és Jólét*, 1(1), 33–39. Online: <https://doi.org/10.58701/mej.9691>
- Világgazdaság (2022a): „Zöld” alternatíva lett az atomenergia. *Világgazdaság*, 2022. február 13. Online: <https://www.vg.hu/energia-vgplus/2022/02/zold-alternativa-lett-az-atomenergia>
- Világgazdaság (2022b): Több mint 260 ezer forinttal nőne a családok rezsije Paks nélkül. *Világgazdaság*, 2022. március 2. Online: <https://www.vg.hu/kozelet/2022/03/elszabadulna-a-rezsi-koltseg-a-paksi-aram-nelkul>

Jogszabályi hivatkozások

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/1996-116-00-00>
- A 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>
- A nemzeti vagyonról szóló 2011. évi CXCVI. törvény. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2011-196-00-00>
- A Tanács irányelve (1968. december 20.) az EGK tagállamainak minimális kőolaj- és/vagy kőolajtermék-készletezési kötelezettségéről. Online: <https://jogkodex.hu/doc/1482408>
- Az állami építési beruházások 2035. december 31. napjáig szóló szakpolitikai-ágazati beruházási koncepcióinak elfogadásáról szóló 1308/2024 (X.9) Korm. határozat. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2024-1308-30-22>
- Magyarország Helyreállítási és Ellenállóképességi Terve REPowerEU-fejezet. Online: <https://www.palyazat.gov.hu/rrf-repowereu-fejezet-velemenyezés>
- Magyarország konvergencia programja 2023–2027. Online: https://commission.europa.eu/system/files/2023-05/2023-Hungary-CP_hu.pdf alapján
- Magyarország középtávú költségvetési-strukturális terve 2024 (2024). Online: https://economy-finance.ec.europa.eu/document/download/db036be5-0631-4471-8228-90907a05332e_hu?filename=national_medium-term_fiscal_structural_plan_hungary_hu.pdf&prefLang=en
- Nemzeti Energiastratégiáról szóló 77/2011. (X. 14.) OGY határozat. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2011-77-30-41>
- Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégia. Online: <https://eionet.kormany.hu/akadalymentes/download/1/26/71000/NFFT-HUN-web.pdf>
- Párizsi megállapodás (2015). Eur-lex. Online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=HU](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=HU)

Igaz-Danszky Tamás¹ 

A Pajzs tömeges események kezelésével kapcsolatos legújabb fejlesztéseinek vizsgálata

The Latest Developments of the Pajzs System in Relation to Mass Event Management

A cikk a katasztrófavédelem műveletirányításában kulcsszerepet betöltő Pajzs riasztási rendszer tömeges események kezelésére vonatkozó legújabb fejlesztéseit mutatja be. A fejlesztések közép-pontjában a térképalapú eseménykezelés, a csoportos címkiadás és a Pajzs Mini mobilalkalmazás továbbfejlesztése áll. A tanulmány egy szimulációs gyakorlat tapasztalatait elemzi, amelynek célja a rendszer megnövekedett terhelés alatti teljesítményének vizsgálata és az erőforrás-gazdálkodás optimalizálása volt. A teszt eredményei alátámasztják, hogy az új funkciók jelentősen hozzájárulhatnak a tömeges káresetek hatékonyabb kezeléséhez, a műveletirányítás gyorsításához és a beavatkozó egységek munkájának támogatásához. A szerző javaslatokat fogalmaz meg a rendszer jövőbeni fejlesztésére és szélesebb körű alkalmazására.

Kulcsszavak: Pajzs rendszer, műveletirányítás, katasztrófavédelem, tömeges események, térképes eseménykezelés, tömeges címkiadás

This study presents the latest developments of the Pajzs alert system, which plays a key role in disaster management operations control, focusing on the management of mass events. The core of these developments includes map-based event management, group address issuance, and the further development of the Pajzs Mini mobile application. The study analyses the experiences of a simulation exercise aimed at examining the system's performance under increased load and optimising resource management. The test results support the conclusion that the new features can significantly contribute to more efficient management of mass incidents, faster operational

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola; ügyeletvezető, Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság Fővárosi Főügyeleti Osztály, e-mail: tamas455@gmail.com

control, and better support for responding units. Additionally, the study offers recommendations for the future development and broader implementation of the system.

Keywords: *Pajzs system, operation control service, disaster management, mass event, map-based event management, multiple address assignment*

Bevezetés

A Katasztrófavédelem műveletirányításának egyik alapvető informatikai eszköze a Pajzs riasztási rendszer, amely 2012 óta biztosítja a riasztások gyors és hatékony kezelését, elősegítve a beavatkozó egységek mielőbbi helyszínre érkezését és a hatékony beavatkozást. „Napjainkban a katasztrófák és károsító hatásaik elleni védekezés ösztársadalmi és egyben nemzetközi érdek, valamint nevesíthető elvárás a társadalom részéről az e munkát szervezők felé. Mindez egyre magasabb szintű követelményeket támaszt a katasztrófavédelem hazai és nemzetközi modelljeinek megfogalmazásához.”² A korunkra jellemző változások – mint például a klímaváltozás hatásai – új kihívások elé állítják a katasztrófavédelmet, amely a tüzesetek mellett a növekvő műszaki mentésekkel is egyre komplexebb feladatok elé néz. Mindezen nehézségeket tovább fokozhatja, ha a veszélyhelyzetben lévő személyek – nem rossz szándékból, hanem a pánikreakció miatt – akaratlanul is akadályozzák a beavatkozó egységek munkáját.³ A rendszer folyamatos fejlesztése elengedhetetlen – ahogyan arra Hesz József is rámutat, a riasztási rendszerek hatékonyságát jelentősen növelte a számítógépes és térinformatikai eszközök megjelenése és integrációja, ami mérföldkövet jelentett a gyorsabb beavatkozások lehetővé tételében⁴ –, különösen a tömeges események kezelése során, amikor természeti katasztrófák vagy szélsőséges időjárási helyzetek miatt rövid idő alatt rendkívül nagyszámú bejelentés érkezik a műveletirányítási ügyeletre. „Az eredmények azt mutatják, hogy az erőteljes hatású időjáráshoz kapcsolódó döntéseket és intézkedéseket nem feltétlenül csak az időjárási figyelmeztetések motiválják. Ehelyett ezek a hatások tapasztalatára adott reakciók – például a bevetések vagy a segélyhívások számának növekedése.”⁵ Az ilyen nagy léptékű események hatékony irányítása megköveteli, hogy a beérkező adatok ne csak táblázatos vagy szöveges formában álljanak rendelkezésre, hanem térben is ábrázolhatók, értelmezhetőek és elemezhetőek legyenek.

A vizuális, térképalapú eseménykezelés mára a modern műveletirányítás elengedhetetlen eszközévé vált. Ezt az irányt erősíti meg Goodchild is, aki már 2009-ben arra hívta fel a figyelmet, hogy a térinformatikai tudomány folyamatosan új képességekkel, adatokkal és kihívásokkal gazdagodik – előrelátása különösen figyelemre méltó, hiszen megállapításai másfél évtizeddel később is érvényesek.⁶

² MUHORAY 2022: 377.

³ VASS et al. 2024: 815–833; MUHORAY–MUHORAY 2022: 93–102.

⁴ HESZ 2020: 51–66.

⁵ KOX–LÜDER 2021: 610.

⁶ GOODCHILD 2009: 1037–1043.

A Pajzs rendszer mobil egysége a járműveken található Pajzs Mini tablet és alkalmazás, amely a riasztásokat elektronikusan fogadja, biztosítva a valós idejű információfrissítést és a pontosabb helyzetértékelést.⁷

„Miközben az irányító és riasztó központban dolgozó parancsnokok elsősorban technikai eszközökön keresztül tapasztalják meg az időjárást, amelyet terepi adatok hitelesítenek, a megfigyelések szerint súlyos időjárási helyzetekben megnő a regionális meteorológiai szolgálattal és a terepen dolgozó kollégákkal való közvetlen kapcsolat szerepe.”⁸

A mindennapi működés során stabilan teljesítő rendszer ilyen kritikus helyzetekben fokozott terhelésnek van kitéve, ezért folyamatos optimalizálásra van szükség a gyorsabb adatfeldolgozás és a hatékonyabb műveletirányítás érdekében. Jelen tanulmány bemutatja a Pajzs riasztási rendszer és a Pajzs Mini fejlesztéseit, valamint egy tesztelési célú gyakorlat tapasztalatait, különös figyelmet fordítva a főváros és Pest vármegye területén felmerülő kihívásokra – amelyek természetesen az ország más területeire is egyaránt érvényesek – és megoldási lehetőségekre. A főváros területét választottam ki az esemény bemutatására és a tesztelés végrehajtására, mivel a jelentős népességszám és a korlátozott földrajzi terület együttes hatása következtében itt a problémák fokozottabban észlelhetők. Ezáltal a rendszer működésének értékelése során pontosabb képet kaphattunk annak hatékonyságáról és az esetleges fejlesztések bevalásáról.

Alkalmazott kutatási módszerek

A tanulmány alapját egy esettanulmány jellegű vizsgálat képezte, amely során a Pajzs rendszer tömeges eseménykezelésre vonatkozó fejlesztéseit értékelttem egy előre tervezett szimulációs gyakorlat keretei között. A gyakorlat valós körülményeket modellezett, így lehetőséget biztosított a rendszer működésének, teljesítményének és használhatóságának tényleges tesztelésére. A kutatás során megfigyeléses módszert, gyakorlati tesztelést és szimulációs modellezést alkalmaztam, amelyek a gyakorlat során rögzített tapasztalatokon alapultak. A fejlesztések működésének vizsgálatakor különös figyelem irányult a tömeges események kezelésére, a csoportos címkiadás hatékonyságára, valamint a térképes felületek operatív alkalmazhatóságára. „A riasztóközpontokra jellemző az a kultúra, amelyet áthatnak a technikai eszközök, szabályzatok és dokumentumok, melyek célja a kezdetben hiányos vagy pontatlan információk hitelesítése.”⁹ A gyakorlatot követően a rendszer működését utólagos értékelés keretében vizsgáltam, a teszt során szerzett tapasztalatok alapján. A gyakorlatban részt vevő kollégáimmal közösen írásos visszajelzést készítettünk, amelyben összefoglaltuk a működés közben tapasztalt nehézségeket, valamint több gyakorlati fejlesztési javaslatot is megfogalmaztunk. Ez a visszajelzés hozzájárul a rendszer továbbfejlesztéséhez, különösen

⁷ IGAZ-DANSZKY – HIS 2023: 48–52.

⁸ KOX–LÜDER 2021: 610.

⁹ KOX–LÜDER 2021: 612.

a térképes eseménykezelés javításához és az új funkciók éles rendszerbe vezetésének előkészítéséhez. Emellett dokumentumelemzést is végeztem, különös tekintettel az 1/2024. BM OKF főigazgatói intézkedésre, amelyek a műveletirányítás hivatalos szabályozási kereteit rögzítik, és a gyakorlat értelmezése szempontjából fontos háttéranyagnak tekinthetők. A rendszer új funkcióinak értékelését a korábbi – újítások nélküli – működési gyakorlat ismeretében, azzal való összevetés alapján végeztem, különös figyelmet fordítva a hatékonyságra, az információkezelésre és a felhasználói munkaterhelésre.

A felmerült probléma

A főváros területén 13 hivatásos tűzoltó-parancsnokság (HTP) és 4 Katasztrófavédelmi Őrs (Őrs) működik. Kedvező körülmények között összesen 30 fecskendő – teljes (6 fő) vagy fél rajjal (4 fő) – áll rendelkezésre a beavatkozások végrehajtására. Az események kezelése során figyelni kell arra, hogy szélsőséges időjárási helyzetekben ne legyen minden tűzoltó erő egy időben bevetésen. Egy kidőlt fa eltávolításán dolgozó egység például csak korlátozott gyorsasággal tud új helyszínre vonulni, ezért szükséges tartalékot képezni. Bizonyos számú gépjárműfecskendőt a laktanyában kell tartani annak érdekében, hogy amennyiben tüzesetkez vagy olyan eseményhez érkezik riasztás, ahol emberélet van veszélyben, azonnali beavatkozásra legyen lehetőség. Ennek következtében általánosan elmondható, hogy egy időben legfeljebb 15–20 helyszínen folyik párhuzamosan beavatkozás. Minden egyes esemény felszámolását követően a beavatkozó egységek rádióon keresztül kötelesek jelezni a műveletirányítás felé az esemény felszámolását és ismételt riaszthatóságukat. Ilyenkor a műveletirányítás egy új felszámolandó káreseményt keres az egységnek, lehetőleg az aktuális pozíciója közelében.

A probléma egyik kulcsfontosságú eleme, hogy a beavatkozások befejezését követően a beavatkozó egységek újraalkalmazása jelenleg több manuális lépést igényel a műveletirányítás részéről. Miután egy egység visszajelzi a beavatkozás lezárását, a műveletirányítónak a számítógépes riasztási rendszerben technikailag „vissza kell fordítania” az adott szert, azaz státuszát újra bevethetőre kell állítania. Ezt követően ellenőriznie kell az egység aktuális földrajzi pozícióját, fel kell kutatnia egy olyan új eseményt, amelyhez az adott egység megfelelő felszereléssel és kompetenciával rendelkezik, majd a riasztási rendszerben hozzárendelni a szert az eseményhez, és végül rádióon is közölnie kell az új címet és eseményt az egységgel.

Mindezt tovább nehezíti, hogy egy-egy tömeges esemény során – különösen csúcsidőben – az egységek gyakran csak jelentős késéssel tudnak rádiókapcsolatot létesíteni a műveletirányítással. Előfordul, hogy a szer kiérkezését követően akár 1-2 percet is várnia kell, míg a rádiócsatornán le tudja adni közleményét. A kiérkezést követő visszajelzés során a műveletirányítás visszanyugtázza a közleményt, majd manuálisan is rögzíti azt a rendszer adatlapján, miközben a digitális felületen egy gombnyomással frissíti az adott egység státuszát. Ez a kör minden új információval megismétlődik, és ha az egységek száma vagy az események gyakorisága magas, akkor a folyamat exponenciálisan több időt és energiát emészt fel. Ez különösen extrém időjárási körülmények idején okoz torlódást, amikor a bejelentések száma ugrásszerűen megnő, miközben a beavatkozó és műveletirányítói kapacitások nem bővülnek. E kihívások összetettségét nemzetközi tapasztalatok is alátámasztják: „a katasztrófa-elhárítás

hatékonyágát a katasztrófa súlyossága, a rendelkezésre álló erőforrások típusa és mennyisége, a bevont közigazgatási egységek száma, valamint a választási stratégiák összetettsége befolyásolja”.¹⁰

A szervezet története során ugyanakkor már korábban is többször tanúságot tett arról, hogy képes alkalmazkodni az ilyen megpróbáltatásokhoz, hiszen – ahogyan Varga Ferenc fogalmaz, esetében a fővárost kiemelve – „a fővárosi tűzoltóság következő fél évszázada a töretlen fejlődés mellett a rendkívüli megpróbáltatások időszakát is jelentette egyben”.¹¹ A fenti problémák kezelésére érdekében elengedhetetlen az irányítási eljárások racionalizálása és a technológiai megoldások fejlesztése. Jelen tanulmány egy olyan fejlesztési irányt mutat be, amely ezen folyamatok részbeni automatizálásával és egyszerűsítésével hozzájárulhat a gyorsabb reagáláshoz, a beavatkozási lánc hatékonyabb működéséhez, és ezáltal a kockázatok csökkentéséhez.

A teszt

A teszt célja a szélsőséges időjárás következtében megnövekedett számú bejelentések kezelési folyamatának modellezése volt. Ennek során a Központi Főügyeleti Főosztály és az Informatikai Főosztály szakemberei vizsgálták az újonnan létrehozott térképes eseménykezelési felület működését, a vármegye és a főváros együttműködését, valamint azt, hogy a rendszer teljesítménye hogyan alakul a megnövekedett terhelés alatt. A fejlesztés egyik kulcsfontosságú eleme az volt, hogy egyszerre több címet lehessen kiadni egyetlen szer számára, ezzel optimalizálva az erőforrások felhasználását és csökkentve a riasztásokhoz szükséges időt.

A teszt egy időben, három helyszínen zajlott:

- A BM OKF Központi Főügyeleti Főosztály egyik irodájában,
- a Pest Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság (Pest VMKI) Fő- és Műveletirányító Ügyeletén, valamint
- a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság (FKI) Fő- és Műveletirányító Ügyeletén.

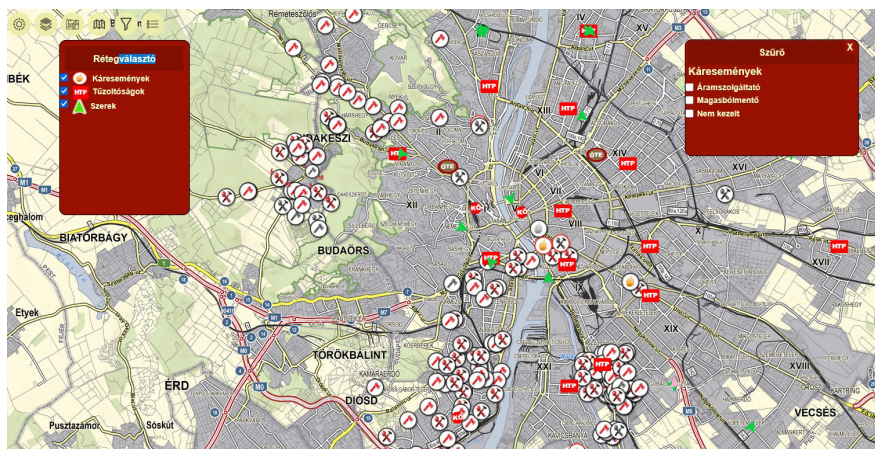
A teszt egy erős széllel és heves zivattal kísért viharhelyzetet szimulált, amely során közel 1000 bejelentés érkezett a Műveletirányító Ügyeletre. Az eseménykezelés során a katasztrófavédelem informatikai hálózatán a Pajzs rendszer tesztfelülete (a rendszer tesztfelülete mindenben megegyezik az „éles” rendszer felületével, kivéve, hogy az itt végrehajtott riasztások, eseménykezelések, a valódi rendszerben nem generálnak valós riasztást) és 10 darab Pajzs Mini alkalmazást futtató tablet – amelyek működése a teszt idejére a Pajzs tesztfelületéhez volt kapcsolva – állt rendelkezésre. A teszt során a hagyományos, alapvetően szöveges alapú eseménykezelés helyett – ahol a térképi felület csupán háttér-információként szolgál – a tömeges események idején a vizuális eseménykezelés válik dominánssá. Ekkor az ügyeltesek az új térképes felületet használják az események kezelésére (1. ábra).

Ez a felület többek között lehetőséget biztosít:

¹⁰ COMFORT et al. 2004: 295–313.

¹¹ VARGA 2020: 35.

- a tűzoltóságok térképi megjelenítésére;
- a riasztott és nem riasztott szerek követésére;
- a káresemények különböző kategóriák szerint megjelenítésére és szűrésére (például nem kezelt események, „magasból mentő” igényű esetek, áramszolgáltató beavatkozását igénylő esetek);
- a káresemények és az erők összekapcsolására;
- csoportos címek kiadására; és
- a szer-káresemény összekapcsolásának vizuális jelölésére.



1. ábra: Az új térképes eseménykezelési felület
 Forrás: BM OKF Pajzs rendszer

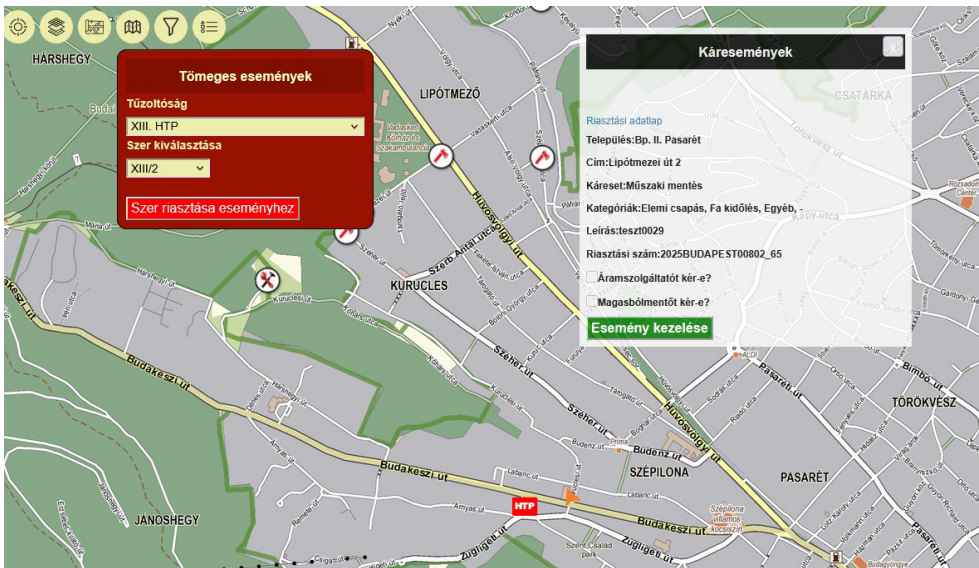
A rendszer egyik új funkciója az „erőforrásigény” beállításának lehetősége. Ennek célja, hogy egyes speciális beavatkozást igénylő eseményeknél (például, ha „magasból mentőre” vagy áramszolgáltatóra van szükség) már a bejelentéskor vagy a helyszínen tartózkodó egység által megjelölhető legyen, ha szükséges ilyen típusú erőforrás. Ez lehetővé teszi a kezelők számára, hogy ennek megfelelően tudják az egységeket az adott helyszínre riasztani. A térképes felületen megjelenő ikonok további információkat biztosítanak az ügyeltesek számára, így segítve a hatékonyabb döntéshozatalt és erőforrás-gazdálkodást (2. ábra).

| Műszaki mentés | | | |
|---|----------------|---|----------------------------|
| | | | |
| az esemény kezelése még nem történt meg | kezelt esemény | életveszély az esemény kezelése még nem történt meg | életveszély kezelt esemény |

2. ábra: Példa az ikonok jelentésére
 Forrás: BM OKF Pajzs felhasználói útmutató

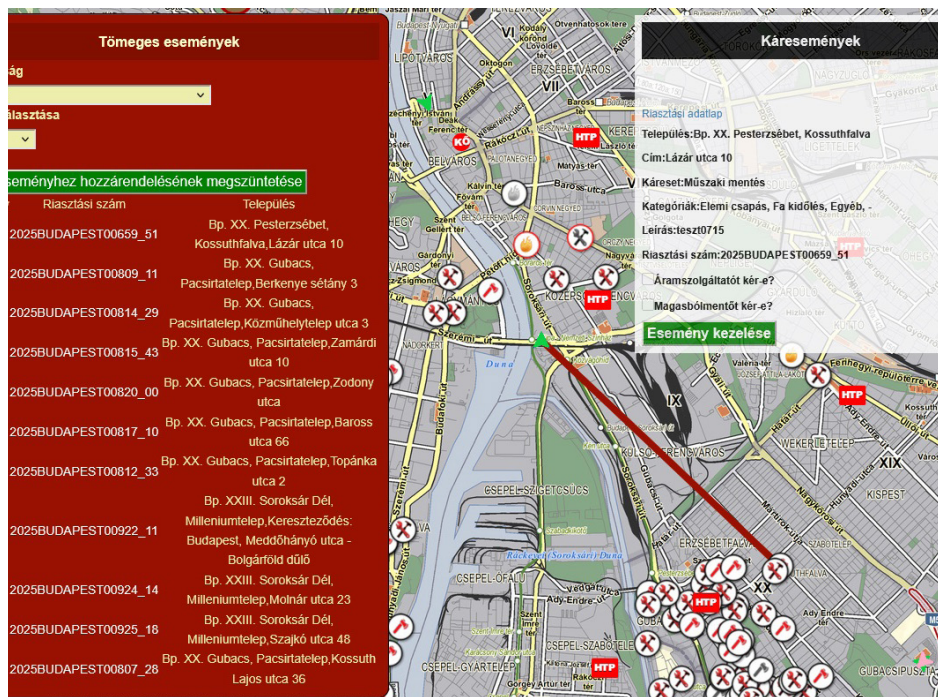
A teszt folyamata és eredményei

A gyakorlat során az ügyeltesek a beérkező adatlapokat folyamatosan dolgozták fel, majd az eseményekhez szert rendeltek az új térképes eseménykezelési felületen. A teszt célja annak vizsgálata volt, hogy a nagyszámú esemény kezelése milyen hatékonysággal történik az új rendszerben, és hogyan lehet optimalizálni az erőforrások mozgatását. A prioritást élvező események – például tüzesetek és életveszélyes műszaki mentések – azonnali beavatkozást igényeltek. A többi káresemény esetében az eljárás során az egységek egy adott földrajzi területen belül több eseményt is egymás után számoltak fel, ezzel csökkentve a haladási időt és növelve a beavatkozások hatékonyságát. A teszt egyik legfontosabb fejlesztése lehetővé tette, hogy egy szer egyszerre több címet is megkapjon (3. ábra).



3. ábra: Szer-káresemény összerendelése az új felületen

Forrás: BM OKF Pajzs rendszer



4. ábra: Csoportos címek az új felületen

Forrás: BM OKF Pajzs rendszer

A Pajzs Mini alkalmazáson keresztül az egységek előre megkapják a számukra kijelölt eseményeket, és saját döntésük szerint, optimális sorrendben kezelhetik azokat (4. ábra). Ez az új eljárás több előnyt is kínál:

- csökkenti a rádióforgalom terhelését,
- gyorsítja az eseménykezelést,
- lehetőséget biztosít a rugalmasabb erőforrás-kezelésre.

A teszt eredményei azt mutatták, hogy a térképalapú eseménykezelési módszer és az új címkeadási eljárás jelentősen hozzájárulhat a tömeges események hatékonyabb kezeléséhez. A teszt során tapasztalt informatikai és operatív kihívások további finomhangolása szükséges, de az új rendszer alkalmazása várhatóan jelentős előrelépés a tömeges események kezelése terén.

A teszt folyamat alatt kiemelt figyelmet kapott az a szituáció, amikor más vármegyéből, jelen esetben Pest vármegyéből érkező segítő egységek támogatták Budapest területén a beavatkozást. Ez az együttműködési forma kulcsfontosságú szerepet játszott, mivel az egységek az előzetes egyeztetések alapján egy előre meghatározott területen végezték el a káresemények felszámolását. A különleges helyzetet az adta, hogy ezen egységek nem közvetlenül a főváros Műveletirányítási Ügyeletével tartották a kapcsolatot, hanem a saját vármegyéjük ügyeletével. Ez a megoldás számos előnyt kínált, mivel lehetőséget biztosított a beavatkozó

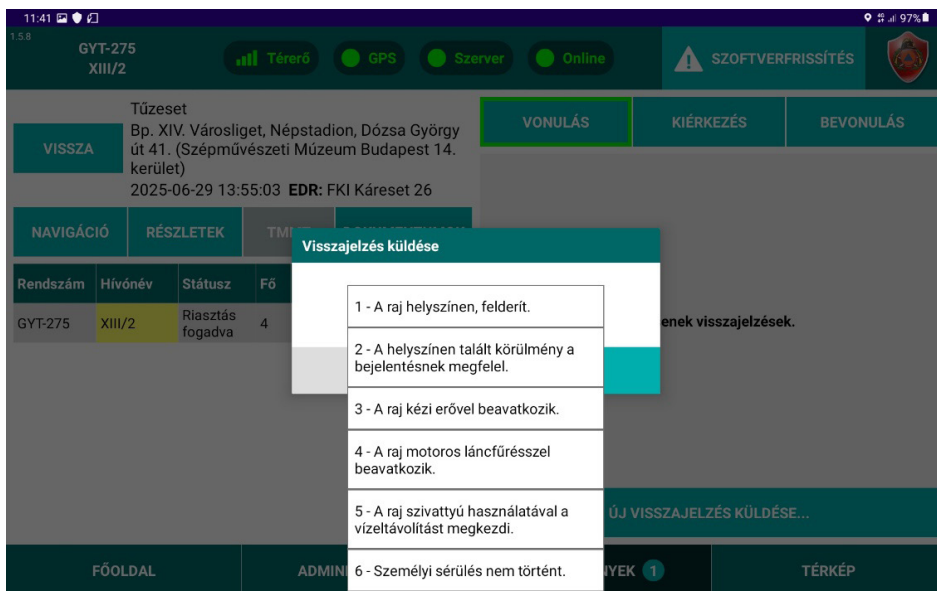
egységek számának, valamint az őket irányító műveletirányítók számának növelésére anélkül, hogy a helyi ügyelet további terhelést kapott volna. Az ilyen típusú, koordinált segítségnyújtás nemcsak a katasztrófavédelem munkájának hatékonyságát növeli, hanem a beavatkozások gyorsaságát és eredményességét is fokozza, mivel az egységek az őket irányító ügyeletek segítségével folyamatosan rendelkezésre állnak, ezáltal gyorsítva és javítva a kárelhárítási folyamatokat.

A Pajzs Mini felülete a teszt alatt

A Pajzs Mini eszköz a beavatkozó állomány munkáját hatékonyan támogató, korszerű digitális segédeszköz hozzájárul a beavatkozások során az információáramlás gyorsításához és az adminisztratív terhek csökkentéséhez. Az egységek a tableteszközön keresztül kapják meg a riasztást, amely tartalmazza a riasztási adatlapot, az esemény típusát, valamint a beavatkozási címet. Ennek eredményeként jelentősen csökken a hibalehetőségek száma, különösen az események rádiós úton történő továbbításához képest, amely félreértésekhez, ismétlésekhez vagy torzulásokhoz vezethet. A készülék integrált navigációs funkcióval is rendelkezik, amely megkönnyíti a helyszínre történő eljutást.

A jelen gyakorlat során az eszköz elsősorban a tömeges események kezelésére szolgáló kulcsfunkciók használatára korlátozódott. Ilyen események esetén a tablet automatikusan megjeleníti a számára kiosztott események listáját, az egység pedig az adott cím kiválasztását követően a „vonulás” funkció aktiválásával jelzi elindulását. A helyszínre érkezéskor a „kiérkezés” gomb megnyomásával az eszköz automatikusan rögzíti az érkezés időpontját, amely azonnal láthatóvá válik a műveletirányítási rendszerben, és a riasztási dokumentáció kötelező elemeként tárolódik.

A beavatkozás során a visszajelzések egy része előre definiált válaszlehetőségek kiválasztásával történik, ezzel tehermentesítve a rádióforgalmat és gyorsítva az adminisztratív folyamatokat (5. ábra).



5. ábra: Rögzített visszajelzések a Pajzs Mini rendszerben
 Forrás: BM OKF Pajzs Mini rendszer

Normál működési rendben ezeket az adatokat rádiós úton közlik, majd manuális módon rögzítik, azonban nagy terhelésű időszakban – például extrém időjárási helyzetekben – ez a megoldás sokkal hatékonyabbá teszi a kommunikációt és az adatkezelést. Amennyiben speciális körülmény merül fel, például különleges technikai segítség vagy társszerv bevonása válik szükségessé, az egység továbbra is rádiós csatornán keresztül jelzi azt a műveletirányítás felé, amely ennek megfelelően intézkedik. A beavatkozás befejezését követően az eszköz segítségével rögzíthető a felszámolás ténye, majd a „bevonulás” funkció használatával a rendszer automatikusan lezárja az eseményt az adott szer számára. Az egység a rá kiosztott összes esemény felszámolását követően lép csak kapcsolatba a műveletirányítással, ez jelentősen csökkenti a műveletirányítás ilyen jellegű leterheltségét (6. ábra).

The screenshot shows the Pajzs Mini application interface. At the top, there is a status bar with the time 11:47, signal strength, battery level at 96%, and various system indicators like 'Térrő', 'GPS', 'Szerver', and 'Online'. A 'SZOFTVERFRISÍTÉS' (Software Update) notification is visible. The main content area is divided into several sections:

- VISSZA XIII/2**: A button to return to the previous screen.
- Műszaki mentés ÉLETVESZÉLY!**: Incident title with a red warning label. Location: Bp. XIV. Városliget, Népstadion, Városliget. Time: 2025-07-14 09:42:27. EDR: FKI Káreset 8.
- NAVIGÁCIÓ**, **RÉSZLETEK**, **TMMT**, **DOKUMENTUMOK**: Navigation tabs.
- Table 1: Incident Details**

| Rendszám | Hívónév | Státusz | Fő | Oltóanyag | Érkezés |
|----------|---------|-----------------|----|-----------|----------|
| NWZ-537 | XIII/1 | Riasztás kiadva | 5 | 4000 | - |
| GYT-275 | XIII/2 | Kiérkezett | 4 | 4000 | 13p 19mp |
- Table 2: Incident Log**

| Küldő | Időpont | Üzenet |
|----------------|---------------------|---|
| XIII/2 | 2025-07-30 11:47:05 | 2 - A helyszínen talált körülmény a bejelentésnek megfelel. |
| Pál Andrea/OKF | 2025-07-14 09:43:01 | Új adatlap felvétel történt. Cím: Bp. XIV. Városliget, Népstadion, Városliget (EOVX: 241468; EOVY: 652460); RF: I., Életveszély: Igen; Megkülönböztető jelzés: Igen; Bejelentő adatai: x; Mit veszélyeztetett: épületet; Minősítés: Műszaki mentés / Elemi csapás / Egyéb / Egyéb, -; Leírás: x |
- ÚJ VISSZAJELZÉS KÜLDÉSE...**: A button to send a new response.
- FŐOLDAL**, **ADMINISZTRÁCIÓ**, **KÁRESEMÉNYEK 3**, **TÉRKÉP**: Bottom navigation bar with 3 active items.

6. ábra: Káresemény kezelése a Pajzs Mini felületén
 Forrás: BM OKF Pajzs Mini rendszer

A tablet ezután megjeleníti a még nyitott, kiosztott káresetek listáját, amelyek közül az egység kiválasztja a következő helyszínt, és az előzőekhez hasonló módon végrehajtja a szükséges beavatkozást. Továbbá a felület lehetőséget biztosít a kiadott címek között a bejárás sorrend optimalizálására is (7. ábra).

The screenshot shows the Pajzs Mini mobile application interface. At the top, there's a status bar with the time 11:47 and battery level 96%. Below it, the app header displays 'GYT-275 XIII/2' and several status indicators: 'Téroró', 'GPS', 'Szerver', and 'Online'. A 'SZOFTVERFRISZÍTÉS' (Software Update) notification is also present.

The main content area is divided into several sections:

- VISSZA** (Back): Műszaki mentés **ÉLETVESZÉLY!** (Technical rescue **LIFE DANGER!**). Location: Bp. XIV. Városliget, Népstadion, Városliget. Date: 2025-07-14 09:42:27. EDR: FKI Káreset 8.
- NAVIGÁCIÓ** (Navigation): Részletek (Details), TMMT, and Dokumentumok (Documents).
- Részletek (Details) Table:**

| Rendszám | Hívónév | Státusz | Fő | Oltóanyag | Érkezés |
|----------|---------|-----------------|----|-----------|----------|
| NWZ-537 | XIII/1 | Riasztás kiadva | 5 | 4000 | - |
| GYT-275 | XIII/2 | Kiérkezett | 4 | 4000 | 13p 19mp |
- VONULÁS** (Movement): KIÉRKEZÉS (Arrived) and BEVONULÁS (Departure).
- Küldő** (Sender): Pál Andrea/OKF. **Időpont** (Time): 2025-07-14 09:43:01. **Üzenet** (Message): 2 - A helyszínen talált körülmény a bejelentésnek megfelel. Új adatlap felvétel történt. Cím: Bp. XIV. Városliget, Népstadion, Városliget (EOVX: 241468; EOYV: 652460); RF: I., Életveszély: Igen; Megkülönböztető jelzés: Igen; Bejelentő adatai: x; Mit veszélyeztetett: épületet; Minősítés: Műszaki mentés / Elemi csapás / Egyéb / Egyéb, ; Leírás: x

At the bottom, there are navigation buttons: 'FŐOLDAL' (Home), 'ADMINISZTRÁCIÓ' (Administration), 'KÁRESEMÉNYEK 3' (Incidents 3), and 'TÉRKÉP' (Map). A 'ÚJ VISSZAJELZÉS KÜLDÉSE...' (Send New Report...) button is also visible.

7. ábra: Csoportos címek a Pajzs Mini felületén
 Forrás: BM OKF Pajzs Mini rendszer

Amennyiben az összes kiosztott címet feldolgozták, az egység jelzést küld az Ügyelet részére, amely újabb eseményeket rendelhet hozzá. Ez a megoldás lehetővé teszi a folyamatos, gördülékeny munkavégzést, és hozzájárul a műveletirányítási rendszer hatékonyabb működéséhez, különösen magas leterheltségű időszakokban.

A Pajzs Mini készülékek egy további funkciója, hogy lehetőséget adnak új kárta rögzítésére, ha az egység útközben egy, még nem rögzített káreseményt talál. Ekkor a rendszer az esemény helyét a tablet GPS-koordinátája alapján rögzíti, az esemény típusát – vagyis, hogy „Tűzeset” vagy „Műszaki mentés” – pedig az adatlapot rögzítő határozza meg. Ezt követően a rendszer az adatlapot a műveletirányításnak továbbítja, ahol a további információkat a rádió kapottak alapján rögzítik.

Tapasztalatok és javaslatok

A Pajzs rendszer és a Pajzs Mini eszköz alkalmazásának gyakorlati tesztelése összességében sikeresnek bizonyult, noha a részletes kiértékelés még folyamatban van. Az előzetes tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a rendszer képes volt a számára kijelölt funkciók hatékony ellátására, és nagy valószínűséggel hasonló megbízhatósággal működne éles, tömeges események során is. A teszt során szerzett pozitív tapasztalatok alátámasztják azt a feltételezést, miszerint a rendszer bevezetése kézzelfogható előnyökkel járhat mind a műveletirányítás, mind a beavatkozó egységek operatív tevékenysége szempontjából. Minél több információ

áll rendelkezésre, annál nagyobb az esélye a jó minőségű és alacsony kockázatú döntések meghozatalának.¹²

A gyakorlat tanulságai alapján javasolható, hogy a jövőbeni fejlesztések során célszerű lenne a Pajzs Mini eszközök elérhetőségét kiterjeszteni az önkormányzati tűzoltóságokra és az önkéntes tűzoltó egyesületekre is. Ez különösen fontos lehet tömeges káresemények alkalmával, amikor az önkormányzati és az önkéntes erők önállóan vagy a hivatásos egységekkel együttműködve vesznek részt a kárelhárításban. Az eszköz által biztosított digitális kommunikációs és visszacsatolási lehetőségek lényegesen gyorsabb és pontosabb információáramlást tennének lehetővé az önkéntes egységek irányába is, ezáltal fokozva az együttműködés hatékonyságát. Hasonlóképpen előnyös lenne az eszköz biztosítása azon egységek számára is, amelyek kifejezetten az események előzetes helyszíni ellenőrzésére lehetnek kijelölve. Amennyiben ezen egységek is rendelkeznének Pajzs Mini eszközzel, lehetőség nyílna arra, hogy a visszajelzések gyorsan, strukturált formában jussanak el a műveletirányításhoz, ami hozzájárulna a beavatkozások dinamikusabb és célzottabb koordinációjához.

A teszt tapasztalatai rámutattak arra is, hogy a hálózati sávszélesség kritikus szerepet játszik a térképes eseménykezelés gördülékeny működésében. A jelenlegi hálózati kapacitás a legnagyobb terhelésű időszakokban időnként lassulást eredményezett, ami a térképi adatok frissítésében és a felületek betöltésében is érzékelhető volt. A sávszélesség bővítése és a hálózati infrastruktúra fejlesztése számottevően javíthatná a reakcióidőt és a munkafolyamat gördülékenységét, különösen a kritikus beavatkozási időszakokban.

A helymeghatározás pontossága szintén kulcsfontosságú a címkiadás és az erőforrások optimális mozgatása szempontjából. A tapasztalatok alapján előnyös lehet a járművek mellett a tabletek saját GPS-adatait is bevonni a rendszerbe, így biztosítva a folyamatos pozícióinformációt minden körülmények között. Ez különösen akkor lenne hasznos, ha a fővárosi gépjárművek egy része éppen karbantartás vagy technikai ok miatt nem ad pontos GPS-jelet.

Az eszközellátottság terén a tapasztalatok azt mutatták, hogy a Pajzs Mini egységesebb elérhetősége – különösen a fő beavatkozó erőknél – tovább csökkentené a rádióforgalmat, és egységesítené a digitális eseménykezelést. Időszakos, célzott eszközkihelyezés például önkéntes tűzoltó egyesületek részére nagy kiterjedésű viharok során szintén hozzájárulhat a gördülékenyebb munkához.

A kezelőfelületek vonatkozásában több olyan apró, de hatásos fejlesztési ötlet is felmerült, amelyek a mindennapi használatot segítenék. Ilyen például, ha a káresemények részletező ablakai új lapon nyílnának meg, így a kezelőfelület gyorsan visszatérhetne az eredeti állapotba. Szintén hasznos lehetne a lezárásra váró események egységes jelölése és listázása, valamint a magasból mentő vagy áramszolgáltató igények hangsúlyosabb megjelenítése. A szűrési és keresési funkciók bővítése – például kategóriaszűrők a térképes felületen, címkereső a hagyományos felületen – tovább gyorsíthatná a navigációt az események között. A szektorhatárok és megnevezések opcionális megjelenítése pedig különösen akkor lenne előnyös, amikor több területi egység összehangoltan dolgozik egy adott városrészben.

¹² KAPUCU–GARAYEV 2011: 366–375.

Nemzetközi kitekintés

A Pajzs és a Pajzs Mini fejlesztései illeszkednek azokhoz a nemzetközi trendekhez, amelyek a műveletirányításban a mobilitást, a digitális adatkezelést és a térképalapú információkat helyezik középpontba.

Az Egyesült Királyságban a London Fire Brigade *LFB a digitális világban* stratégiája (2021–2023) több olyan elemet tartalmazott, amely közvetlenül összevethető a Pajzs és Pajzs Mini megoldásaival. A beavatkozó egységeket 4G-s tabletekkel és mobil adatterminálokkal (MDT) szerelték fel, amelyek az épületek kockázati adatait (OneRisk – az adott objektum különböző szempontú kockázati adatait tartalmazó adatbázis), valamint a kémiai anyagokra és járművekre vonatkozó mentési adatokat (vágási pontok, kis- és nagyfeszültségű egységek, légszákok helye stb.) jelenítik meg. A londoni fejlesztések irányvonala a mobil munkavégzés támogatása volt, ahogy nálunk a Pajzs Mini is a terepen szolgálja ki a tűzoltókat. Szintén párhuzam, hogy a londoni rendszer lehetővé teszi a társszervek adatlapjainak közvetlen átadását és átvételét, ami a Pajzsban már megvalósult elemként szerepel. A londoni rendszer lehetővé teszi drónok, testkamerák és térfigyelő kamerák megtekintését, ezek közül a Pajzs rendszer tesztfelületén már hasonlóképpen megjelent a katasztrófavédelmi drónok adásának továbbítási lehetősége.¹³

Az Egyesült Államokban a Belbiztonsági Minisztérium 2022-ben készült piackutatása 38 különböző incidenskezelő szoftvert vizsgált. A kínálat sokszínűsége figyelemre méltó: egyes rendszereket kifejezetten a tűzoltóság és a rendőrség igényeire szabtak, mások inkább katonai jellegűek, míg bizonyos megoldások a különféle biztonsági szolgálatok működését támogatják. A különbözőségek ellenére közös jellemző, hogy mindegyik nagy hangsúlyt fektet a beavatkozók munkáját segítő taktikai tervezésre, az erőforrás-gazdálkodásra és a szervek közötti együttműködésre. A rendszerek célja, hogy az adatokat ne csak rögzítsék és elemezzék, hanem megosszák és felhasználják a reaklási tevékenységek összehangolására. Ez nagyon hasonló a Pajzs és a Pajzs Mini működési elvéhez.¹⁴

Új-Zéland NGCC-programja szintén azt célozza, hogy a terepen és a járművekben lévő kommunikációs eszközök, valamint az irányítási központok egy egységes rendszerbe kapcsolódjanak. Ez a gondolatvilág erősen emlékeztet a Pajzs és Pajzs Mini koncepciójára: a járművek fedélzeti rendszerei és a központi műveletirányítás közötti folyamatos adatkapcsolat biztosítja, hogy minden szereplő ugyanazt a naprakész információt lássa.¹⁵

E példák mutatják, hogy a Pajzs és a Pajzs Mini fejlesztései nemzetközi viszonylatban is előremutatók, ugyanazokra az alapelvekre építenek – mobilitás, digitális integráció, térképalapú döntéstámogatás –, amelyek a legmodernebb külföldi rendszereket is meghatározzák.

¹³ LFB in a Digital World 2021.

¹⁴ Incident Management Software for Emergency Response 2022.

¹⁵ Next Generation Critical Communications 2020.

Összegzés

A cikk bemutatta a Pajzs rendszer térképalapú eseménykezelésének legújabb fejlesztéseit, különös tekintettel a tömeges káresetek kezelésére vonatkozó megoldásokra. Ismertette a „csoportos címkiadás” bevezetését és működését, valamint a rendszer gyakorlati tesztelésének tapasztalatait. A fejlesztések célja a gyorsabb, átláthatóbb és hatékonyabb műveletirányítás volt, amely hozzájárul az erőforrások jobb kihasználásához és a beavatkozások pontosabb koordinációjához. A katasztrófavédelem informatikai fejlesztései jelentősek, hiszen az ilyen irányú innovációk nemcsak a riasztás és beavatkozás hatékonyságát növelik, hanem közvetlen támogatást nyújtanak a beavatkozó állomány számára is, ahogyan azt Pántya Péter egyik tanulmányában is olvashatjuk, ahol a horvát és a magyar tűzoltóság összehasonlításán keresztül rávilágít arra, hogy például a kamerával felszerelt erdőtűzfigyelő tornyok és a minden hivatásos tűzoltóság számára elérhető erdőtűzterjedési szimulációs térképek rendkívül nagy segítséget jelentenek a hatékony reagálásban.¹⁶

Összességében elmondható, hogy a Pajzs rendszer fejlesztése nem csupán technikai előrelépést jelent, hanem szemléletváltást is a tömeges események kezelésében – egy lépést egy gyorsabban reagáló, még inkább együttműködésen alapuló katasztrófavédelmi rendszer felé.

Felhasznált irodalom

- COMFORT, Louise et al. (2004): Coordination in Rapidly Evolving Disaster Response Systems: The Role of Information. *American Behavioral Scientist*, 48(3), 295–313. Online: <https://doi.org/10.1177/0002764204268987>
- GOODCHILD, Michael F. (2009): Geographic Information Systems and Science: Today and Tomorrow. *Procedia Earth and Planetary Science* 1, 1037–1043. Online: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.160>
- HESZ József (2020): A haragtól a számítógépig, avagy a tűzjelzés és riasztás története. *Belügyi Szemle*, 68(8), 51–66. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.8.3>
- IGAZ-DANSZKY Tamás – HIS Imre (2023): Pajzs Mini, a katasztrófavédelem tűzoltó járművekre fejlesztett riasztási rendszere. *Tűzvédelem*, 30(4), 48–52.
- Incident Management Software for Emergency Response (2022): *Market Survey Report, January 2022, Homeland Security*. Online: https://www.dhs.gov/sites/default/files/2022-01/SAVER%20IMS%20MSR_05Jan2022-508.pdf
- KAPUCU, Naim – GARAYEV, Vener (2011): Collaborative Decision-Making in Emergency and Disaster Management. *International Journal of Public Administration*, 34(6), 366–375. Online: <https://doi.org/10.1080/01900692.2011.561477>
- KOX, Thomas – LÜDER, Catharina (2021): Impacts as Triggers for Weather-Related Decision Making: Observations at the Berlin Fire Brigade Control and Dispatch Center. *International Journal of Disaster Risk Science*, 12(4), 610–615. Online: <https://doi.org/10.1007/s13753-021-00356-4>
- LFB in a Digital World (2021): *Information and technology strategy, 2021–2023*. Online: <https://www.london-fire.gov.uk/media/5741/lfb-in-a-digital-world-strategy-2021-refresh-final-approved-march-2021.pdf>
- MUHORAY Árpád (2022): A katasztrófavédelem irányítási modelljének vizsgálata. In SZABÓ Csaba – MOLNÁR Dániel (szerk.): *Studia Doctorandorum Alumnae – Válogatás a DOSZ Alumni Osztály*

¹⁶ PÁNTYA 2025: 391–397.

tagjainak doktori munkáiból I. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 359–458. Online: <https://doi.org/10.23715/SDA.2022.1.3>

MUHORAY Róbert – MUHORAY Árpád (2022): Áldozati mentalitás és félelmek katasztrófhelyzetekben. In HÁBERMAYER Tamás – VARGA István – ACKERMANN Zsuzsanna (szerk.): *Katasztrófák és következmények, segítők és áldozatok*. Szekszárd: Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 93–102.

Next Generation Critical Communications (2020): *Business Case „Light”*. Online: https://ngcc.govt.nz/assets/NGCC_Detailed_Business_Case_Lite_FINAL_V1.1.pdf

PÁNTYA Péter (2025): International Comparison of Fire Brigade Operational Systems by Hungarian and Croatian Examples. *Polgári Védelmi Szemle*, 17, 391–397.

VARGA Ferenc (2020): A budapesti hivatásos tűzoltóság története 1870–2020. *Belügyi Szemle*, 68(8), 31–50. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.8.2>

VASS Gyula et al. (2024): A katasztrófavédelmi kutatások eredményei és fejlesztése a rendészettudomány rendszerében. *Belügyi Szemle*, 72(5), 815–833. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ-AJIA.2024.v72.i5.pp815-833>

Komlai Krisztina¹ 

A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelőségének kihívásai

Challenges of Fire Protection Compliance for Thermally Insulated Flat Roofs with Trapezoidal Steel Profiles

A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű, hőszigetelt lapostetők a modern ipari és kereskedelmi építészetben gazdaságosságuk és gyors kivitelezhetőségük miatt elterjedtek, azonban tűzvédelmi megfelelőségük kihívásokat rejt. A cikk részletesen elemzi a magyar és európai szabályozási környezetet, különös tekintettel az Országos Tűzvédelmi Szabályzatra (OTSZ) és az európai szabványok által támasztott követelményekre. Bemutatja a szakintézeti állásfoglalások és a Tűzvédelmi Megfelelőségi Igazolás (TMI) szerepét a magyar gyakorlatban. A tanulmány statisztikai adatokkal szemlélteti az ipari létesítmények tüzeseteinek arányát és a kapcsolódó vizsgálatok, állásfoglalások alakulását 2019–2024 között. A szerző kiemeli, hogy bár az ipari tüzek száma alacsony, a potenciális károk jelentősek, ezért a szabályozás és a vizsgálati módszerek folyamatos fejlesztése elengedhetetlen a tűzbiztonság növelése érdekében.

Kulcsszavak: teherhordó trapézlemez, szakintézeti állásfoglalás, tűzvédelem, külső tetőtűzterjedés

Load-bearing trapezoidal sheet-based, thermally insulated flat roofs have become widespread in modern industrial and commercial architecture due to their cost-effectiveness and rapid installation. However, their compliance with fire safety requirements presents significant challenges. This article provides a detailed analysis of the Hungarian and European regulatory environment, with particular attention to the requirements set by the National Fire Protection Regulations (OTSZ) and European standards. It presents the role of expert institute opinions and the Fire Protection Compliance Certificate (TMI) in Hungarian practice. The study illustrates, with statistical data, the proportion of fire incidents in industrial facilities and the trends in related investigations and

¹ PhD-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: komlai.krisztina@uni-nke.hu

expert opinions between 2019 and 2024. The author emphasises that although the number of industrial fires is low, the potential damages are significant; therefore, the continuous development of regulations and testing methods is essential to enhance fire safety.

Keywords: load-bearing trapezoidal sheet, expert institute opinion, fire protection, external roof fire spread

Bevezetés

A modern ipari és kereskedelmi építészetben a teherhordó trapézlemez tetőszerkezetek gazdaságosságuk és gyors kivitelezhetőségük miatt széles körben elterjedtek. Felépítésüket tekintve úgynevezett egyenes rétegrendű tetőfödémekről beszélünk, amelyek magasbordás, hidegen hengerelt acél trapézlemez, párazáró fóliából, hőszigetelő anyagból és vízszigetelő lemezből állnak. Ezen szerkezetek népszerűsége azonban komoly tűzvédelmi tervezési kérdéseket vet fel, különösen a hatályos Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) előírásainak való megfelelés tekintetében.

A probléma gyökere abban a látszólagos ellentmondásban rejlik, amely a szerkezet elsődleges funkciója és a tűzvédelmi követelmények között áll fenn. Míg a trapézlemez alapvetően teherhordó (R) funkciót lát el – önsúly, hőteher és installációs teher viselése –, a tetőfödémekre mint térelhatároló szerkezetekre² az OTSZ komplex, a teherhordás mellett az integritást (E) és a hőszigetelő képességet (I) is magában foglaló, azaz REI tűzvédelmi teljesítmény követelményt ír elő. Ez a kettősség kihívás elé állítja a tervezőket, a kivitelezőket és a hatóságokat egyaránt. A piacon elérhető minősített rendszerek és a valós tervezői gyakorlat gyakran nincsenek teljesen összhangban a szabályozói elvárásokkal, ami bizonytalansághoz, következetlen jogalkalmazáshoz és lehetséges tűzbiztonsági kockázatokhoz vezet.

Jelen cikk célja, hogy részletesen bemutassa a teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelőségének nehézségeit. A tanulmány elemzi a vonatkozó jogszabályi hátteret, igyekszik rávilágítani, miért érdemes foglalkozni az ipari épületek tüzeivel, és bemutat néhány, az érintett tetőfödémekkel kapcsolatos statisztikai adatot.

Tűzvédelmi célú kormányzati kiadások

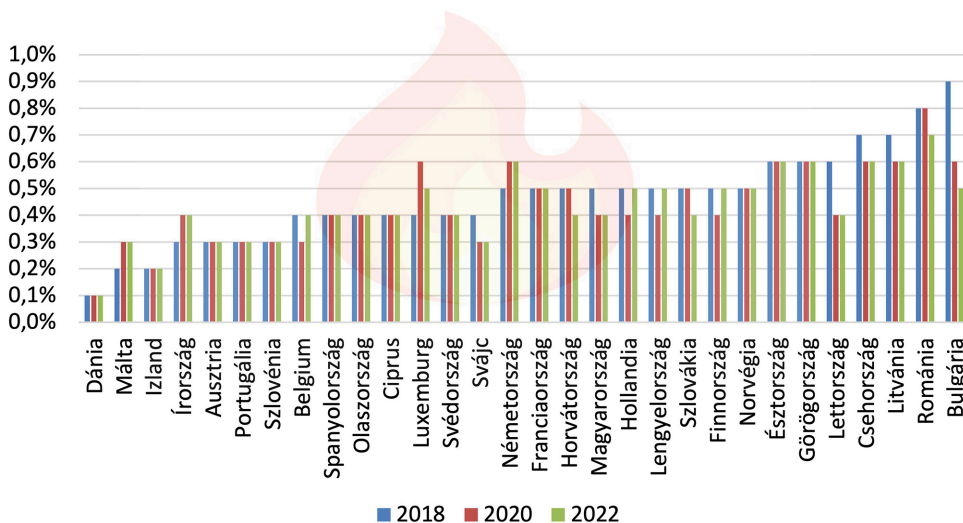
A komplex tűzvédelem három fő területe a tűzmegeelőzés, a tűzoltás és a tűzvizsgálat. Bár ez a három terület a gyakorlati alkalmazást tekintve elkülönül egymástól, egyértelműen kijelenthető, hogy egymásra hatásuk szakmai szempontból megkérdőjelezhetetlen.³

Az Eurostat 2024-es adatai alapján az Európai Unió (EU) több mint 360 000 hivatásos tűzoltóra támaszkodik, amely arányszám az EU teljes foglalkoztatásának 0,18%-át teszi ki. 2022-ben az EU-tagországok kormányai megközelítőleg 38 milliárd eurót költöttek tűzvédelmi

² Tetőfödém térelhatároló szerkezete: a tetőfödém tartószerkezeteire támaszkodó könnyűszerkezetes, réteges felépítésű, legfeljebb 80 kg/m² felület tömegű szerkezetek (önhordó) rétegei, az állandó terhelésbe valamennyi tetőrétetet, valamint a ráfüggesztett és rátett dolgok terhét is bele kell számolni.

³ ÉRCES 2015.

szolgáltatásokra, amely összeg nagyságrendileg megegyezik a korábbi évek kiadásaival. Az 1. ábrán szereplő adatokból látható, hogy az EU-tagországok tűzvédelmi célú kiadásai hogyan alakultak az elmúlt években. A meglévő adatok alapján elmondható, hogy az EU-ban összességében a tűzvédelmi szolgáltatásokra fordított kormányzati kiadások 2016 óta stabilan az államháztartás teljes kiadásának 0,5%-át teszik ki.



1. ábra: Általános kormányzati kiadások tűzvédelmi szolgáltatásokra az Európai Unió tagállamaiban

Forrás: a szerző szerkesztése Eurostat 2020; Eurostat 2022; Eurostat 2024 alapján

Míg ezeknek a kiadásoknak jelentős része ma Magyarországon a hivatásos tűzoltóállomány fenntartására, ezáltal a három alappillér közül főként tűzoltásra és tűzvizsgálatra fordítódik, addig a tűz megelőzés és annak költségei minden esetben az építettest terhelik. Az utóbbihoz tartozó kiadások mértéke attól függ, milyen követelményeket állapít meg a tűzvédelmi tervező az épülettel kapcsolatban. Minél szigorúbb követelményeknek kell megfelelnie egy épületnek, annál valószínűbb, hogy a ráfordított összeg emelkedni fog.

Magyarországon és Európában is számos előírásnak kell teljesülnie ahhoz, hogy egy építési termék vagy építményszerkezet – esetünkben a teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödém – jogszerűen betervezhető és beépíthető legyen.⁴

⁴ KOMLAI 2024.

Követelmények és szabványok

A 305/2011/EU (CPR) rendelet⁵ hivatott az Európai Unión belül biztosítani az építési termékek szabad mozgását, és egységes szabályokat állapít meg a termékek forgalmazására vonatkozóan.

A fenti rendeletet 2024. május 30-án módosította a 2024/2769 rendelet,⁶ majd ezt követően 2024. december 18-án megjelent a 2024/3110/EU rendelet⁷ (új CPR), amely – a szankcionálásról szóló cikk kivételével – 2026. január 8-tól váltja fel teljes mértékben a korábbi CPR-t.⁸ E rendelet egyik célja, hogy kidolgozzon egy, az építési termékek teljesítményének értékelését lehetővé tevő közös műszaki nyelvet, hogy az uniós országok biztosítani tudják az építmények biztonságosságát.⁹

Az épületekkel, építményszerkezetekkel szemben támasztott tűzvédelmi követelményeket az egyes országok jogszabályaikban eltérő szinten rögzítik. Ahhoz, hogy a beépíteni kívánt szerkezetek műszakilag összehasonlíthatók legyenek, és igazolható legyen a velük szemben elvárt teljesítménykövetelmény, fontos a megfelelő műszaki szabványok alkalmazása.¹⁰ Teherhordó trapézlemezek esetén két, Európában használt vizsgálati szabványt érdemes kiemelni. Az egyik az MSZ EN 1365-2:2015 *Teherhordó elemek tűzállósági vizsgálata. 2. rész: Födémek és tetők* című szabvány, amely a szerkezet tűzállósági teljesítményének meghatározásához szükséges, valamint az MSZ CEN/TS 1187:2023 *Vizsgálati módszerek tetők külső tűzhatásnak való kitételére* című szabvány, amely a külső tetőtűz terjedését vizsgálja. Továbbá több országban – így Magyarországon is – külön előírás vonatkozik a beépített építési termékek, szerkezetek tűzzel szembeni viselkedési osztályára vonatkozóan, amelyet az MSZ EN 13501-1:2019 *Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzzel szembeni viselkedési vizsgálatok során kapott eredmények felhasználásával* című szabvány alapján határoznak meg.

Az MSZ EN 1365-2:2015 szabvány alkalmazásával vizsgálhatók a különböző tűzállósági kritériumok, úgymint teherhordó képesség (R), integritási képesség (E) és hőszigetelő képesség (I). Ezekből a jellemzőkből alakul ki a teljesítménykövetelmény, amelyet az országok saját hatáskörben rögzítenek. Magyarországon az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos

⁵ Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről EGT-vonatkozású szöveg, más néven CPR rendelet (Common Provisions Regulation – Közös Rendelkezésekről szóló Rendelet).

⁶ A Bizottság (EU) 2024/2769 felhatalmazáson alapuló rendelete (2024. május 30.) a 305/2011/EU európai parlamenti és tanácsi rendeletnek az építési termékek teljesítménye állandóságának a környezeti fenntarthatóságra vonatkozó alapvető jellemzők tekintetében történő értékelésére és ellenőrzésére alkalmazandó rendszerek meghatározása tekintetében történő kiegészítéséről, valamint az említett rendeletnek az építési termékek teljesítménye állandóságának modellalapú megközelítésen alapuló értékelése és ellenőrzése tekintetében történő módosításáról.

⁷ Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3110 rendelete (2024. november 27.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról és a 305/2011/EU rendelet hatályon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg).

⁸ Magyar Szabványügyi Testület 2025.

⁹ EUR-Lex 2022.

¹⁰ KOMLAI 2024.

Tűzvédelmi Szabályzatról (OTSZ) tartalmazza a különböző biztonsági szintekhez tartozó értékeket. A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek úgynevezett tetőfödém térelhatároló szerkezetek,¹¹ amelyekre a 2. mellékletben található 1. táblázat (a *Tűzeseti állékonysági* alcímhez) és 2. táblázat (a *Tető és tetőtér-beépítés követelményei* alcímhez) vonatkozik. A követelmény minden esetben a mértékadó kockázati osztálynak és az épület szintszámának függvénye, az esetek többségében 15 és 30 perces tűzállósági teljesítménykövetelményt és $B_{\text{roof}}(t_1)$ külső tetőtűzterjedési követelményt kell teljesíteniük.

Az MSZ EN 1365-2:2015 szabvány szerinti vizsgálatokat valós léptékű próbatesteken végzik, amely általában egy minimum 2 méter széles és 4 méter hosszú tetőfödémot jelent, amelyet a megbízó által meghatározott súllyal terhelnek, miközben a próbatestet szabványos (cellulóz, beltéri) tűzhatásnak teszik ki. A vizsgálat során a hőmérséklet-változást az előírásoknak megfelelően elhelyezett hőelemekkel mérik, rögzítve az átlagos és a maximális felületi hőmérséklet-emelkedést. A szerkezet alakváltozásának (lehajlásának) mértékét és sebességét a teherhordó trapézlemezhez rögzített lehajlasmérővel határozzák meg. Mindezek mellett szemrevételezéssel ellenőrzik, hogy a vizsgálat időtartama alatt fellép-e tartós lángolás¹² a szerkezeten keresztül.¹³

Az MSZ CEN/TS 1187:2023 szabvány a fentiekkel ellentétben – ahol a tűz az épületen belülről éri a födémot – a külső tetőtűz terjedését vizsgálja, és ehhez 4 különböző vizsgálati módszert határoz meg:

- a) 1. módszer – égő máglya alkalmazása;
- b) 2. módszer – égő máglya és szél alkalmazása;
- c) 3. módszer – égő máglya, szél és kiegészítő sugárzó hő alkalmazása;
- d) 4. módszer – két égő máglya, szél és kiegészítő sugárzó hő alkalmazása.

A fenti módszerekkel végzett vizsgálatok felméri a tűz terjedését a tető külső felületén, illetve magában a szerkezetben, a tűz áttörését a szerkezeten keresztül, valamint a tető alsó oldaláról vagy a tűznek kitett felületről lehulló égő cseppek vagy törmelék képződését. Fontos megjegyezni, hogy a különböző vizsgálati módszerekkel kapott eredmények nem feleltethetők meg egymásnak.¹⁴

Magyarországon az OTSZ a $B_{\text{roof}}(t_1)$ ¹⁵ osztályt írja elő követelményként teherhordó trapézlemez tetők esetében. A vizsgálat során meghatározott hordozófelületre építik fel az alkalmazott teljes rétegrendet (párazáró fólia, hőszigetelő anyag – egy vagy több rétegben –, üvegszövet fátyol [EPS¹⁶ hőszigetelés esetén] és vízszigetelő lemez).¹⁷ A vizsgálati próbatest 800 × 1800 mm méretű, a különböző rétegekben a szabvány szerint meghatározott módon

¹¹ A tetőfödém tartószerkezeteire támaszkodó könnyűszerkezetes, réteges felépítésű, legfeljebb 80 kg/m² felület-tömegű szerkezetek (önhordó) rétegei, az állandó terhelésbe valamennyi tetőréteget, valamint a ráfüggesztett és rátett dolgok terhét is bele kell számolni.

¹² Tartós lángolás: több mint 10 másodpercen keresztül tapasztalható folyamatos lángolás.

¹³ KOMLAI 2024.

¹⁴ MSZ CEN/TS 1187:2023.

¹⁵ $B_{\text{roof}}(t_1)$: t₁, azaz test 1 (1. módszer) szerinti vizsgálat.

¹⁶ EPS: expandált polisztirolhab.

¹⁷ KOMLAI 2024.

kell az illesztéseket kialakítani. A vizsgálatot 15 vagy 45°-os tetődőlésszög alkalmazása mellett végzik (megbízói kérésre egyedi dőlésszög is beállítható), a szabványos lángthatást pedig 600 g égő fagyapot (máglya) biztosítja (2. ábra).



2. ábra: Külső tetőtűzterjedési vizsgálat szabványos hordozón EPS-hőszigeteléssel
Forrás: a szerző felvételei

Külföldi kitekintés

Hazánkban, ahogy azt a korábbiakban említettük, az OTSZ tartalmazza az előírt követelményeket, amelyek teljesítése lehetséges a vonatkozó nemzeti szabványok betartásával, a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekben (TvMI) részletezett műszaki megoldásokkal,¹⁸ illetve ezektől eltérő mérnöki módszerekkel, amennyiben az azonos biztonsági szintet a tervező igazolja.¹⁹

Angliában Magyarországhoz hasonlóan érvényben van egy jogszabály szintű szabályozás (2010 No. 2214 Building and Buildings, England and Wales The Building Regulations 2010),²⁰ amely az OTSZ-től eltérően nem tartalmaz számszerűsített követelményeket, viszont meghatározza, hogy milyen egyéb dokumentumokat kell alkalmazni a tervezés és az építés során.²¹ Az egyik ilyen dokumentum a minisztérium által jóváhagyott *Approved Document B Fire Safety*,²² amely gyakorlati útmutatást nyújt a gyakori építési helyzetekre vonatkozóan arról, hogyan lehet megfelelni az Építési Szabályzatnak. Fontos, hogy mint nálunk, itt is meg lehet felelni a követelményeknek más módokon is, mint amelyeket a jóváhagyott dokumentumok leírnak. Ha a követelmények teljesítéséért felelős személyek, a jóváhagyott dokumentumban leírtaktól eltérő módon kívánnak

¹⁸ BÉRCZI–BADONSKZI 2021.

¹⁹ JASZTRAB–CSÓKE 2020.

²⁰ 2010. évi 2214. számú rendelet – Építés és Épületek, Anglia és Wales – A 2010. évi Építési Szabályzat.

²¹ BADONSKZI–SZIKRA–SZILÁGYI 2013.

²² Approved Document B Fire Safety, Volume 2: Buildings other than Dwellings – B. Jóváhagyott dokumentum: Tűzbiztonság – 2. kötet: Nem lakóépületek.

megfelelni az előírásoknak – mérnöki módszerek alkalmazásával –, akkor erről már a korai szakaszban meg kell állapodniuk az illetékes építésfelügyeleti szervvel.²³

Németországban az építési szabályozás szintén tűzállósági teljesítménykövetelményeken alapszik, amelyek az ISO 834²⁴ szabványban leírt tűztéri hőmérsékleteloszlás-görbére (standard, cellulóz) épülnek. Amennyiben ettől eltérő tűzhatást alkalmaznak a tervezés során, úgy szintén szükséges az egyeztetés az illetékes hatósággal.²⁵ Mindamellet, hogy a jogalkotó egyértelműen meghatározott követelményeket támaszt az épületekkel szemben, a biztosítótársaságok is kiadják saját ajánlásait. A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek esetében is találni ilyen kiadványt a Német Biztosító Szövetség (GDV)²⁶ gondozásában. A német biztosítók kármegelőzési kiadványa (*Steel Trapezoid Profile Roofs – Planning Information for Fire Protection*)²⁷ egy műszaki útmutató, amely az acél trapézlemez tetők tűzvédelmi szempontból helyes tervezésével és kivitelezésével foglalkozik. Célja a tűzterjedés megakadályozása és a tetőszerkezet idő előtti összeomlásának elkerülése tűz esetén.²⁸

A tűzállósági teljesítménykövetelmények mellett a külső tetőtűzterjedésre vonatkozóan is lehet külföldi példát találni. Csehországban a tetőburkolatokkal szemben támasztott tűzvédelmi követelményeket a CSN 730810 – *Épületek tűzvédelme – Általános követelmények* című szabvány tartalmazza. Ez alapján több különböző eset is megkülönböztethető, attól függően, hogy a tető tűzveszélyes területen belül vagy tűzveszélyes területen kívül kerül megépítésre. A tűzveszélyesnek minősített területeken a $B_{\text{roof}}(t_3)$ ²⁹ osztály az előírt, míg, ha a tető a tűzveszélyes területen kívül esik, akkor a méretétől függően vagy nincs rá kötelező osztálykövetelmény (tető területe $\leq 1500 \text{ m}^2$), vagy $B_{\text{roof}}(t_1)$ osztállyal (tető területe $> 1500 \text{ m}^2$) kell rendelkeznie. Érdekesség, hogy ezeket a követelményeket a cseh műszaki szabványok és előírások nem teszik kötelezővé zöldtetők esetében.³⁰

A bemutatott európai példák – legyen szó magyar, angol, német vagy cseh gyakorlatról – közös jellemzője, hogy a szabályozás középpontjában az épületszerkezetek passzív tűzvédelmi teljesítményének biztosítása áll. A globális kép teljessé tétele érdekében érdemes a vizsgálatot kiterjeszteni az Amerikai Egyesült Államokra is, ahol a megközelítés nagyban eltérhet az általunk használttól. Az USA-ban tűzvédelmi kérdésekkel a szövetségi törvény (29 CFR Chapter XVIII – Occupational Safety and Health Administration, Department of Labor, Part 1910, Subpart L)³¹ foglalkozik.³² Az ebben található L alfejezet főként aktív tűzvédelmi kérdéseket – a tűzoltóbrigádok, tűzoltó felszerelések, tűzoltó készülékek, beépített oltórendszerek és sprinklerberendezések – tárgyal, passzív tűzvédelmi³³ előírások nem találhatóak benne. A tűzvédelemben, a fő előírások

²³ Approved dokument B Fire Safety 2025.

²⁴ ISO 834 Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction.

²⁵ BADONSKZI–SZIKRA–SZILÁGYI 2013.

²⁶ German Insurance Association.

²⁷ Acél trapézprofilú tetők – Tűzvédelmi tervezési információ.

²⁸ Steel Trapezoid Profile Roofs 2002.

²⁹ $B_{\text{roof}}(t_3)$: t3, azaz test 3 (3. módszer) szerinti vizsgálat.

³⁰ HOBZOVA et al. 2023.

³¹ Code of Federal Regulations 2025.

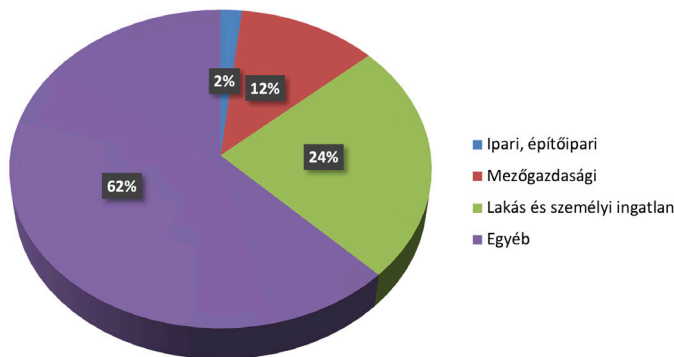
³² BADONSKZI–SZIKRA–SZILÁGYI 2013.

³³ Passzív tűzvédelem: a szerkezeti tűzvédelmen és a tűzszakaszokra bontáson alapul, és lehetővé teszi a bent tartózkodók biztonságos kijutását az épületből, illetve a tűzoltók bejutását az épületbe.

egyikeként, a Nemzeti Tűzvédelmi Társaság (NFPA)³⁴ előírásai a mérvadóak. Az általuk kiadott műszaki irányelvek alkalmazását úgy tekintik, mint egy lehetséges módját annak, hogy a szövetségi törvényekben előírt követelmények teljesüljenek. Az angolai Építési Szabályzathoz hasonlóan ugyanis, a szövetségi törvény által meghatározott követelmények nem tartalmaznak konkrét értékeket vagy számokat, sokkal inkább célokat.³⁵ Igen jelentős az NFPA 101 – Life Safety Code,³⁶ amely a legszélesebb körben alkalmazott forrás az emberek védelmére szolgáló stratégiákhoz, amelyek az épületek szerkezetén, védelmi rendszerein és használati jellemzőin alapulnak, minimalizálva a tűz és a kapcsolódó veszélyek hatásait. Szakterületén egyedülálló, mivel ez az egyetlen dokumentum, amely új és meglévő építményekben egyaránt foglalkozik az életbiztonsággal.³⁷

Magyarországi viszonyok

A rövid nemzetközi kitekintés után, amelyben főként a teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek esetében alkalmazható szabályozást tárgyaltuk, vizsgáljuk meg az elmúlt évek kapcsolódó statisztikai adatait. Az elmúlt évtizedek során a magyarországi tüzesetek jelentős részét (26%) a lakástüzek tették ki.³⁸ A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) legfrissebb adatai alapján a 2015–2024-ig tartó időszakban ez az arány alig változott, a tüzesetek mintegy 24%-a tartozik a lakás- és személyi ingatlan tüzek közé.³⁹ Ezzel szemben az ipari, építőipari tüzek csak nagyjából 2%-ban járultak hozzá a tüzesetek számához. Ezt az arányt jól szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra: Magyarországi tüzesetek száma a tűz helye szerint

Forrás: a szerző szerkesztése

³⁴ National Fire Protection Association.

³⁵ BADONSKZI–SZIKRA–SZILÁGYI 2013.

³⁶ NFPA 101 Életvédelmi Szabályzat.

³⁷ NFPA 101 Life Safety Code 2024.

³⁸ LÁSZLÓ 2019.

³⁹ KINCSES 2025.

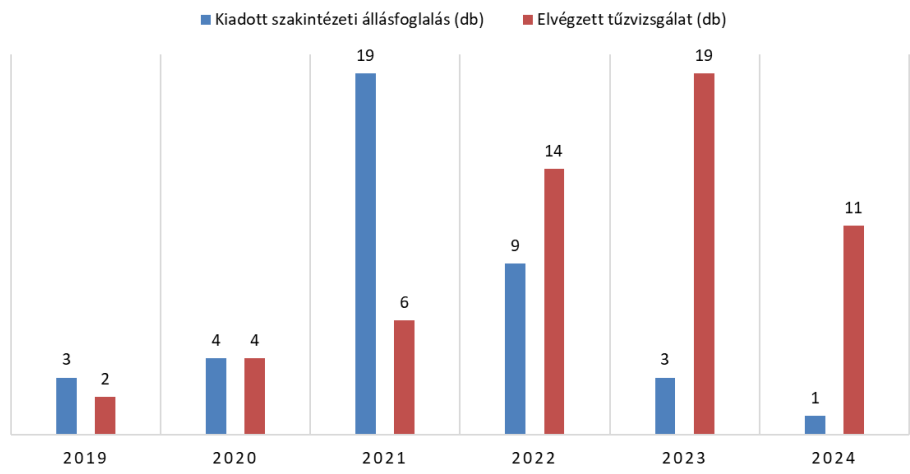
Bár az ipari létesítmények tüzei – ahol jellemzően a cikk által tárgyalt teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémeket alkalmaznak – elenyészőnek tűnnek a többi tüzesethez képest, a leégett épületek alapterületét figyelembe véve már nem elhanyagolhatók. Mivel pontos statisztikai adatok nem érhetők el az ipari létesítményekkel kapcsolatban, így az elemzéshez a rendelkezésre álló, akkreditált tűzvizsgáló laboratóriumban végzett vizsgálatok és a laboratórium által kiadott szakintézeti állásfoglalások szolgálnak alapul.

Ahhoz, hogy egy teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödém beépíthető legyen, rendelkeznie kell az MSZ EN 1365-2:2015 szabvány szerinti vizsgálattal, az MSZ EN 13501-2:2023 *Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás a tűzállósági és/vagy füstzárási vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, a szellőztetőrendszerek kivételével* című szabvány szerinti tűzállósági teljesítménnyel, illetve az MSZ CEN/TS 1187:2023 szabvány szerinti külső tetőtűzterjedési vizsgálattal, és a hozzá tartozó MSZ EN 13501-5:2016 *Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 5. rész: Osztályba sorolás a külső tűzhatásnak kitett tetők vizsgálati eredményeinek felhasználásával* című szabvány szerinti osztályba sorolással. Amennyiben az osztályozási jegyzőkönyvek az adott épületre kiírt követelménynek megfelelő osztályt és a hozzá tartozó alkalmazási feltételeket tartalmazzák, úgy az építményszerkezet betervezhető. Magyarországon az építőipari gyakorlatnak megfelelően, amely törekszik az egyszerűsítésre, a jegyzőkönyvek helyett az úgynevezett Tűzvédelmi Megfelelőségi Igazolást (TMI) veszik alapul a tervezés során. A TMI egy önkéntes dokumentum, amely az építési termék tűzvédelmi jellemzőit igazolja, valamint megadja a tűzvédelmi alkalmazás feltételeit.⁴⁰ Amennyiben a beépíteni kívánt szerkezet bármely paraméterében eltér a jegyzőkönyvekben szereplőtől és ezek alapján a TMI-ben foglaltaktól, úgy lehetőség van szakintézeti állásfoglalás kiadására. A szakintézeti állásfoglalás alapját az építményszerkezettel kapcsolatos vizsgálati dokumentumok, a projekthez tartozó tervek és rajzok, illetve a tűzvédelmi szakember vizsgálati és szakmai tudása képezi.

Az 4. ábra bemutatja, hogyan alakultak az elmúlt években a teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémekkel kapcsolatos vizsgálatok és kiadott szakintézeti állásfoglalások. Látható, hogy 2021-et megelőzően nagyjából ugyanannyi vizsgálatot végeztek, mint amennyi állásfoglalást adtak ki. A szakintézeti állásfoglalások 2021-es nagyszámú kibocsátásának egyik fő oka a COVID–19-járvány volt, amelynek köszönhetően bizonyos építési termékek nem, vagy csak korlátozott mennyiségben voltak beszerezhetőek. Ennek következtében a beépíteni kívánt anyagok egy része eltért a TMI-ben foglaltaktól, és a leggyorsabb és legköltségghatékonyabb módja a megfelelőség igazolásának a szakintézeti állásfoglalás igénylése volt. Emellett ebben az időszakban kezdték a vizsgálóintézetek kivezetni azokat a jegyzőkönyveket, amelyekben egy régi európai gyakorlatnak megfelelően nem teljesen szabványos próbatest kialakításával történtek a vizsgálatok (konzolos tartó).⁴¹ Utóbbi eredményezte többek között, hogy 2022-től a vizsgálatok száma ugrásszerűen növekedett, hiszen a visszavont jegyzőkönyveket új, a szabványi előírásnak megfelelő vizsgálatokkal kellett pótolni.

⁴⁰ ÉMI.

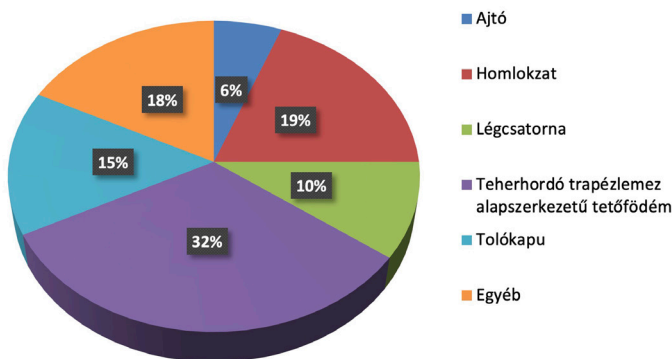
⁴¹ KOMLAI 2024.



4. ábra: Elvégzett vizsgálatok és kiadott szakintézeti állásfoglalások alakulása 2019 és 2024 között

Forrás: a szerző szerkesztése

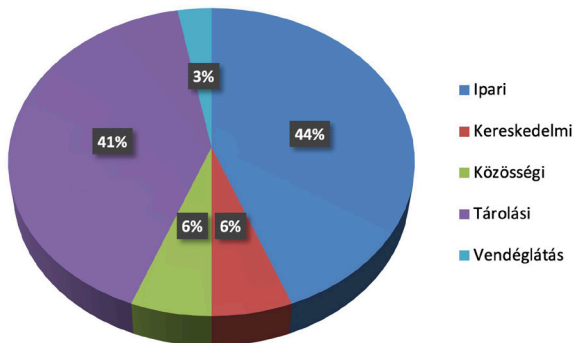
2019 és 2024 között megközelítőleg 120 darab szakintézeti állásfoglalást adtak ki, amelyek közül 39 darab vonatkozott teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémekre. Ez az összes kiadott állásfoglalásra vetítve 32%-ot jelent (5. ábra).



5. ábra: Kiadott szakintézeti állásfoglalások a 2019 és 2024 közötti időszakban

Forrás: a szerző szerkesztése

A teherhordó tetőfödémekre vonatkozó állásfoglalások átnézését követően meghatározható az érintett épületek rendeltetése és nettó alapterülete.⁴²



6. ábra: Teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémrel fedett épületek rendeltetése
 Forrás: a szerző szerkesztése

A 6. ábrán látható ipari rendeltetés különböző üzemeket – akkumulátorgyártó üzem, édesipari üzem, borászati üzem, fröccsöntő üzem, papírgyártó üzem stb. – foglal magában. A másik meghatározó rendeltetés a tárolási rendeltetés, amely általában különböző raktárcsarnokokat jelent.

Az 1. táblázat tartalmazza az érintett épületek nettó és számított alapterületének összefoglalását. Jól látható, hogy a 2019 és 2024 közötti időszakban a nettó alapterület meghaladta az 1 millió m²-t, és ezek csak azok az esetek, amelyekkel a vizsgálóintézet foglalkozott. Ezek alapján megállapítható, hogy bár %-os arányban elenyésző az ilyen jellegű épületekben keletkezett tüzesetek száma, valójában nem elhanyagolható a kár, ami egy-egy tüzeset során keletkezik.

1. táblázat: Teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémrel fedett épületek nettó és számított⁴³ alapterülete

| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | Összesen |
|--|---------|--------|---------|---------|--------|--------|-----------|
| Nettó alapterület (m²) | 102 202 | 16 649 | 553 580 | 323 619 | 17 000 | 20 085 | 1 033 135 |
| Számított alapterület (m²) | 36 934 | 7 836 | 195 994 | 114 812 | 8 623 | 10 043 | 374 242 |

Forrás: a szerző szerkesztése

⁴² Nettó alapterület: helyiség vagy épületszerkezettel részben vagy egészben közrefogott tér vízszintes vetületben számított területe.

⁴³ Számított alapterület: nettó alapterület osztva az épület szintszámával.

A fenti adatokból kiderül, hogy a kiadott szakintézeti állásfoglalások száma csökkenő tendenciát mutat, köszönhetően a nagyszámú elvégzett vizsgálatnak és egy újonnan bevezetett igazolási módszernek, amely során szimulációs eljárással (mérnöki módszerrel) igazolják a tetőfödém alatti hőmérsékletet a kívánt időtartamra, majd ezt az adatot felhasználva statikai számítással igazolják a kívánt időtartamra a teherhordó képességet. Fontos azonban, hogy ezen mérnöki módszerek sem az integritást, sem a hőszigetelő képességet nem tudják megmondani az építményszerkezetre vonatkozóan, így azokat továbbra is csak laboratóriumi vizsgálattal lehet igazolni.

Összegzés

A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelősége napjainkban kiemelt jelentőséggel bír, különösen az ipari és kereskedelmi épületekben, ahol ezek a szerkezetek széles körben alkalmazottak. Mind a hazai, mind a külföldi szabályozás meghatározott követelményeket támaszt ezekkel az építményszerkezetekkel szemben, amely követelményekhez különböző vizsgálati és osztályozási szabványokat rendelnek. A nemzetközi kitekintés rámutat, hogy bár a szabályozások országoként eltérőek, a passzív tűzvédelem mindenhol központi szerepet kap. Angliában és Németországban a szabályozás célorientált, a biztosítók is kiadnak saját műszaki ajánlásokat. Csehországban a követelmények a tető elhelyezkedésétől és méretétől függenek, míg az USA-ban a hangsúly inkább az aktív tűzvédelemre helyeződik, a passzív tűzvédelmi előírások kevésbé hangsúlyosak.

A tanulmány bemutatott néhány szabványi előírást, illetve kitért különféle statisztikai adatokra. A magyarországi statisztikák szerint az ipari tüzek aránya alacsony (körülbelül 2%), azonban a leéghető alapterület és a potenciális károk jelentősek. 2019 és 2024 között mintegy 120 szakintézeti állásfoglalás született, ebből 39 vonatkozott teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémekre, amelyek összesen több mint 1 millió m² nettó alapterületet fedtek le.

Összességében a teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelősége komplex – hiszen bár vonatkoznak rájuk meghatározott vizsgálati szabványok, ezek általánosságban értelmezhetők az összes teherhordó tetőfödémre, és nem tartalmaznak szerkezetspecifikus kiterjesztési szabványokat, úgymint a különböző rétegek alkotóelemeinek cserélhetősége, vastagságuk változtathatósága vagy az alkalmazott trapézlemez anyagminőségének módosíthatósága. Ezek a hiányosságok teszik szükségessé a szakintézeti állásfoglalások és egyéb mérnöki (numerikus) módszerek alkalmazását a gyakorlatban, és ezért szükséges a szabályozás, a vizsgálati módszerek és a gyakorlati alkalmazás szoros együttműködése a tűzbiztonság növelése érdekében.

Felhasznált irodalom

BADONSKZI Csaba – SZIKRA Csaba – SZILÁGYI Csaba (2013): Tűzvédelmi mérnöki módszerek a világban – a szomszéd réjtje. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 20(4), 31–34. Online: <https://www.vedelem.hu/letoltes/ujsg/v201304.pdf>

- BÉRCZI László – BADONSKZI Csaba (2021): A tűzvédelmi tervezés fő tartópillérei a tűzvédelmi műszaki irányelvek. *Védelem Tudomány*, 6(2), 66–96. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelem-tudomany/article/view/13473/10891>
- EUR-Lex (2022): Építési termékek. Eur-lex.europa.eu, 2022. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/LSU/?uri=celex%3A32011R0305>
- Eurostat (2020): Firefighters and Fire-protection in the EU. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20200504-1>
- Eurostat (2022): Fires in the EU Call Firefighters to the Test. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220809-1>
- Eurostat (2024): EU Relies on Over 360 000 Professional Firefighters. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240823-1>
- ÉRCES Gergő (2015): *A komplex tűzvédelem vizsgálata mérnöki módszerekkel történő tűzvizsgálat alkalmazásával*. Online: <https://vedelem.hu/letoltes/anyagok/-a-komplex-tuzvedelem-vizgalata-mernoki-modszerekkel-torteno.pdf>
- ÉMI [é. n.]: *Tűzvédelmi Megfelelőségi Igazolás*. Online: <http://www.emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/tmi.html>
- HOBZOVA, Klara et al. (2023): *Flame Spreadig Across the Green Roof*. Online: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202338501027>; Online: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202338501027>
- JASZTRAB Péter János – CSÖKE Gergely (2020): Építőipari kivitelezések tűzvédelmi szabályozásának vizsgálata. *Műszaki Katonai Közlöny*, 30(1), 41–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2020.1.3>
- KINCSES Áron (2025): *Magyar Statisztikai Zsebkönyv 2024*. Budapest: Központi Statisztikai Hivatal.
- KOMLAI Krisztina (2024a): Teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzállósági vizsgálata az integritás és hőszigetelő képesség függvényében. *Védelem Tudomány*, 9(2), 49–60. Online: <https://doi.org/10.61790/vt.2024.15860>
- KOMLAI Krisztina (2024b): Teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzállósági vizsgálata: teherhordó kapacitás. *Biztonságtudományi Szemle*, 6(Különszám), 45–49. Online: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/414/344>; <https://doi.org/10.61790/vt.2024.15860>
- LÁSZLÓ Gabriella (2019): Lakófunkciójú épületek általános tűzterhelésének változása Magyarországon. *Műszaki Katonai Közlöny*, 29(2), 155–164. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.2.13>
- Magyar Szabványügyi Testület (2025): 2024/3110/EU az új 305/2011/EU (CPR). Online: <https://www.mszt.hu/hu-hu/szabvanyositas/hirek/2025/01/2024-3110-eu-az-uj-305-2011-eu-cpr>
- Steel Trapezoid Profile Roofs (2002): *Planning Information for Fire Protection 2002*. Online: <https://shop.vds.de/download/vds-2035en>

Jogi források

- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- 2010 No. 2214 Building and Buildings, England and Wales The Building Regulations 2010.
- A Bizottság (EU) 2024/2769 felhatalmazáson alapuló rendelete (2024. május 30.) a 305/2011/EU európai parlamenti és tanácsi rendeletnek az építési termékek teljesítménye állandóságának a környezeti fenntarthatóságra vonatkozó alapvető jellemzők tekintetében történő értékelésére és ellenőrzésére alkalmazandó rendszerek meghatározása tekintetében történő kiegészítéséről, valamint az említett rendeletnek az építési termékek teljesítménye állandóságának modellalapú megközelítésen alapuló értékelése és ellenőrzése tekintetében történő módosításáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről EGT-vonatkozású szöveg

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3110 rendelete (2024. november 27.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról és a 305/2011/EU rendelet hatályon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg)

Code of Federal Regulations - 29 CFR Chapter XVIII – Occupational Safety and Health Administration, Department of Labor, Part 1910, Subpart L.

Szabványok

CSN 730810:2016 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení

ISO 834:1975 Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction

NFPA 101 Life Safety Code (2024)

MSZ CEN/TS 1187:2023 Vizsgálati módszerek tetők külső tűzhatásnak való kitételére

MSZ EN 1365-2:2015 Teherhordó elemek tűzállósági vizsgálata. 2. rész: Födémek és tetők

MSZ EN 13501-1:2019 Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzzel szembeni viselkedési vizsgálatok során kapott eredmények felhasználásával

MSZ EN 13501-2:2023 Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás a tűzállósági és/vagy füstzárási vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, a szellőztetőrendszerek kivételével

MSZ EN 13501-5:2016 Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 5. rész: Osztályba sorolás a külső tűzhatásnak kitett tetők vizsgálati eredményeinek felhasználásával

Éva Etelka Gyöngyössi¹ 

Fire Hazard of Fire-Resistant Cables Below the Ignition Point

I have previously proposed the introduction of so-called hazard classes, which follow the real-life classification of cables exposed to different thermal stresses. My experience has shown that the causes of fires, i.e. temperatures, can be classified into three ranges, which also cover the mechanism of action on plastics, i.e. the type of damage. Accordingly, cables should be tested in three temperature ranges according to the high operating temperatures that can be expected in the application environment. Temperatures below the flash point can be ensured by radiant heat rather than flame. The heat load is usually expressed in literature in terms of heat flux (W/m^2) rather than temperature. So, following the professional protocol, we built a radiant source and measured the heat load on the cables with a Gardon pyrometer. The polymer sheaths of the cables showed typical degradation characteristics (fouling, smoke formation, sheath rupture) well below the ignition point (range 150–220 °C).

Keywords: cable sheathing, degradation, thermal stress

Introduction

Electrical wires and cables are found in modern applications (not just in industrial applications), and evaluating their fire hazards has become important as a priority. As the demand for electrical energy continues to rise, cables must be designed to resist higher electrical and thermal loads.² The new regulatory attempts of electrical vehicles predict more expectations and requirements for more reliable and fire-safe electrical wirings.³ The development and choice of cables and their layers, in particular polymeric outer sheaths, has so far been primarily based on environmental considerations. Today, other almost exclusively halogen-free polymers may be used. The issue of the flammability of cable sheathing has rapidly come to the fore. In particular, fatalities caused by electrical fires are at the top of the global list.⁴

¹ PhD student, Ludovika University of Public Service Doctoral School of Military Engineering; designer, Schrack Seconet Ltd., e-mail: evi.gyongyossi@gmail.com

² BENKE et al. 2023.

³ KUTI et al. 2025.

⁴ PISSINOS 2015.

There is a need to improve the resistance of cables and their layers, especially polymeric outer sheaths, to heat and flame. Thermal stress can be internal, caused by overheating of metallic conductors (mostly copper) or external e.g. due to fires or other heating.

Among the wide range of plastic coverings, there is one that I think is worth highlighting. The latest trend in current developments is the use of heat-resistant XLPE (cross-linked polyethylene) polymers. XLPE insulated cables generally operate in a temperature range between $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. However, they can withstand higher temperatures for short periods, for example in the event of a short circuit. XLPE can withstand temperatures up to $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ for short periods in the event of a short circuit.⁵

XLPE, as a material, has been around for a long time (XLPE was invented in 1963) and has effectively replaced paper insulation in high-voltage power cables. The advantages of XLPE insulation include low electrical loss, high dielectric strength, low cost and high thermal stability. Different types of XLPE insulation have different operating temperature limits. Raising the temperature of XLPE insulation beyond the operating limits has an irreversible detrimental effect on performance and reduces cable life. The temperature limits of XLPE come from the raw material, polyethylene (PE). PE is thermally stable up to about $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Most commercially available PE grades have melting temperatures between $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. High-density PE has a melting temperature of $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Conventional XLPE and heat-resistant XLPE have melting temperatures of $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $123\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. HVDC (High-voltage direct current) cables insulated with XLPE have an additional temperature limitation, the temperature gap through the insulation. The well-known temperature limit of XLPE has been in existence for a long time, and given the technological advances in cables, advanced numerical software modelling and live temperature monitoring, and the pressure on network operators to operate at higher temperatures, its relevance is nowadays being questioned.⁶

XLPE material temperature limit explained

XLPE was introduced in 1963 and has since replaced paper insulation in high voltage cables and effectively replaced paper insulation in high voltage power cables. The advantages of XLPE insulation include its low electrical loss, high electrical breakdown strength, low cost and high thermal stability. Different grades of XLPE insulation will have different operating temperature limits. Increasing the temperature of XLPE insulation beyond its operating limits has irreversible degrading effects on performance and reduces cable lifespan.

The temperature limits of XLPE come from the base product upon which it is derived which is polyethylene (PE). PE is thermally stable up to about $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. The melting temperature of most commercial PE grades is between $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. High-density PE has a melting temperature of $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

⁵ Temperature Limits for XLPE Insulated Cables [s. a].

⁶ YAMADA et al. 2003.

The melting temperatures for conventional XLPE and heat-resistant XLPE are 103 °C and 123 °C, respectively. Thus, it makes sense to limit the continuous operating temperature of XLPE to 90 °C.

HVDC cables that are insulated using XLPE have an additional temperature limit constraint which is the temperature drop across the insulation.

The well-known temperature limit of XLPE has been around for a long time, and considering the technological advances in cable design, with advanced numerical software modelling and live temperature monitoring being commonplace, and with pressure for network owners to operate at higher temperatures, its relevance today is being questioned.

Another direction of development is the development of cables and accessories for heat-resistant XLPE polymers that can be operated at the maximum conductor temperature of 105 °C in normal operation. With this cable system, higher transmission capacity can be achieved by using existing cable ducts and without increasing the conductor size of the cable. The problem of hot splices through the cable traces can also be solved by replacing the conventional XLPE cable with a newly developed a heat resistant XLPE cable. We have developed a heat resistant XLPE insulation material with a higher melting point than conventional XLPE. The new material has a lower thermal deformation at 105 °C than conventional XLPE at 90 °C.

However, the cost of building underground ducts is much higher than the cost of building cable systems, and the difficulties of building new cable lines have increased, especially in urban areas. It is therefore necessary to increase transmission capacity by using existing ducts to avoid the costs of building new ducts. For this reason, we have developed heat-resistant XLPE cables and accessories that raise the maximum allowable temperature in normal operation from the traditional 90 °C to 105 °C.⁷

We have developed heat-resistant XLPE cable and accessories that can be operated at 105/spl deg/C as the maximum permissible conductor temperature in normal operation. Through this cable system, greater transmission capacity can be achieved using existing cable ducts and without increasing the conductor size of the cable. Also, the problem of hot spans through the cable route can be solved by replacing conventional XLPE cable with the newly developed heat-resistant XLPE cable. We have developed a heat-resistant XLPE insulation material which has a higher melting point than conventional XLPE. The heat deformation of the new material at 105/spl deg/C is less than that of conventional XLPE at 90/spl deg/C. The breakdown strength of heat-resistant XLPE cable at 105/spl deg/C is almost the same as that of conventional XLPE cable at 90. Conventional self-pressurised rubber joints (hereinafter: SPJ) can be applied to heat-resistant cable lines with the new waterproof joint compound with low heat resistivity.

Even major cable manufacturers specify an operating temperature range e.g. 40 °C – 125 °C.⁸

⁷ PILGRIM et al. 2024.

⁸ TA YU Science Co. 2023.

The importance of radiant heat and the purpose of my studies

In my previous work I have already pointed out that the commonly used and mainly standard cable ratings are generally based on flame tests. A closer examination of the conditions to which cables are exposed reveals that damage to the plastic sheathing can be expected long before the flame temperature is reached. In fact, thermal degradation, i.e. pyrolysis, is triggered before the ignition temperature of the plastic materials.⁹

I have previously proposed the introduction of so-called hazard classes, which follow the real-life classification of cables exposed to different thermal stresses.¹⁰ In my experience, the causes of fires, i.e. temperatures, can be classified into three ranges, which also cover the mechanism of action on plastics, i.e. the type of damage. Accordingly, cables should be tested in three temperature ranges according to the high operating temperatures that can be expected in the application environment.

In this work I investigate the effects of the *first temperature range* on the most typical samples, when the plastics are exposed to temperatures below the ignition point, i.e. 300–400 °C. This is considered the most critical range from a fire safety point of view, because the heat is not visible, but it already starts degradation processes that can produce combustible gases and vapours. At this point, the plastic structure decomposes, which can lead to smoke formation. I would also like to explain the importance of this with Figure 1.

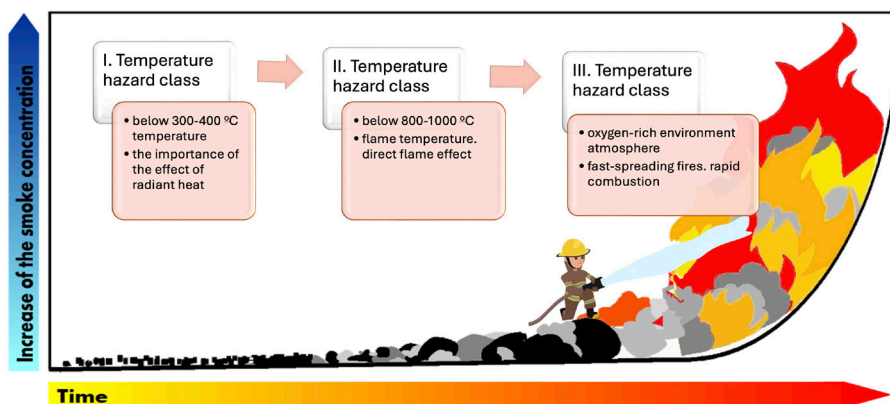


Figure 1: Temperature hazard classes

Source: compiled by the author

⁹ YONG et al. 2024.

¹⁰ GYÖNGYÖSSY 2024.

Presentation of the study

A device had to be used that would provide a temperature below about 300 °C. A radiant iron core is the best way to achieve this. By moving away from the surface of the glowing iron core, we can ensure or adjust the temperature at which our cable sample is exposed. We have also provided the heat flux to the sample in the usual W/m^2 .

Structure of the measurement

The complete measurement setup is shown in Figure 2, which consists of two independent parts.

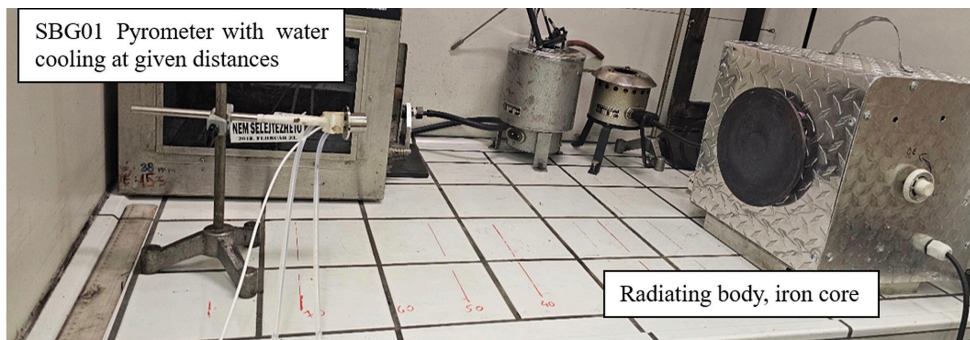


Figure 2: Measurement setup

Source: photographed by the author

Radiating body: (Figure 3) A conventional single-burner electric cooker was modified for the test. Its components are placed in a 30 cm × 30 cm box of 2 mm thick aluminium ribbed plate as follows: the 15 cm diameter hotplate (glowing iron core) is placed in a vertical position on one side of the cube-shaped box. The centre of the circular hotplate is vertically 18 cm from the plane of the test table and is positioned horizontally exactly in the centre of the apparatus. The hob was operated from mains power, maintaining the original parameters (230 V, 50 Hz, 1500 W). Adequate ventilation and protection against overheating is ensured by the 3 cm high feet and the ventilation holes drilled in the plate cover.

The iron bulb core is temperature adjustable, protected against overheating and factory dimmed. In operation, it heats up to 650 °C when checked by a thermocouple with a digital display, which was sufficient for my experiment.



Figure 3: Radiating body with iron core in the middle

Source: photographed by the author

Heat flux measurement

Principle of measurement: values calculated from the radiation of a black body with a total angle of view of 180° using the Stefan-Boltzmann law. Radiant heat flux and corresponding blackbody temperature.

Typical heat flux ranges:

Table 1: Typical heat flux ranges

| Heat flux ($\times 10^3 \text{ W/m}^2$) | Equivalent black body temperature ($^{\circ}\text{C}$) |
|---|--|
| 1 | 0.4 |
| 10 | 2 |
| 20 | 500 |
| 30 | 750 |
| 40 | 1,000 |
| 50 | 1,100 |
| 60 | 1,200 |

Source: compiled by the author

I used the SBG01 water-cooled sensor, which measures heat flux in the range $(5-200) \times 10^3 \text{ W/m}^2$. The Hukseflux SBG01 sensors are calibrated according to ISO 14934-3. The SBG01 measures heat flux in the range $(5-200) \times 10^3 \text{ W/m}^2$. Equipped with a black absorber, this type of heat flux sensor is designed to measure in environments where the heat flux is mainly generated by radiation. When used with an open sensor, the SBG01 is also sensitive to convective heat flux, although this contribution is usually ignored.

The thermocouple sensor of the SBG01 generates an output voltage that is proportional to the incoming irradiance. The SBG heat flux sensor measures radiation incident on a flat surface from a 180° angle of view. This quantity, expressed in W/m^2 , is called the irradiance (irradiances) and is also referred to informally as the heat flux. The SBG01 sensor is designed to measure high heat fluxes in the range of about $5 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ and above. The spectrum of such radiation sources typically ranges from 300 to $3000 \times 10^{-9} \text{ m}$. The SBG01 is a passive sensor that does not require any power supply. The body temperature of the sensor shall not exceed 80°C . The contribution due to convection must be taken into account. If the SBG01 sensor is not shielded, convective heat transfer caused by hot gases may cause measurement errors.

The heat flux, Φ (W/m^2), is calculated by dividing the SBG01 output voltage, U , by the sensitivity, S .

$$\Phi = U/S$$

Table 2: Typical heat flux ranges according to ISO 14934-4

| Heat flux ($\times 10^3 \text{ W/m}^2$) | Comment |
|---|---|
| 300 | Maximum heat flux level of a fully developed fire |
| 200 – 100 | Wall heat flux in a developed fire area |
| Around 100 | Heat flux from a burning house |
| Around 30 | Heat flux from wood ignition |
| 20–10 | Heat flux from wood ignition |
| Around 7–8 | The lowest heat flux that causes a wood wall to ignite is a pilot flame |
| Around 4 | The lowest heat flux that causes burns |
| Around 2.5 | The highest heat flux that humans can tolerate |
| 1.5 | Solar radiation constant, maximum level of solar radiation |

Source: compiled by the author

Samples

I selected three typical cable samples as shown in Table 3. A thermocouple was attached to the surface of the samples to give as accurate a temperature as possible for the observed phenomena.

Table 3: Main characteristics of the cable samples tested

| Number of samples | Name of cable type | Fire safety properties | Description of the type | Usage |
|-------------------|--|------------------------|--|--|
| 1 | NOBURN XPS 2x1.9 mm ₂ LPCB 682E/01 300/500V (MADE IN UK) | PH30 | XPS, ceramic-silicone vessel insulation, halogen-free Flame spread prevention | Shielded cable for fire alarm, public address and access control systems with 30 minutes fire resistance 300/500 V |
| 2 | KABTEK JE-H(St.)H.Bd 2x2x0.8 mm ₂ E90/FE180 | E90 FE180 | Halogen-free, solid copper conductor with Mica tape with vascular insulation | Halogen-free flame retardant safety cable |
| 3 | S.FIRE PROOF JB-H(ST.) H 1x2x1,0 mm ₂ EMI LIC.NUM. 20-CPR-37-(C-14/2014) No: U/021145 | PH120 | Polyolefin outer sheath and vascular seal; Mica tape and flow-through fibre | Halogen-free safety cable |

Source: compiled by the author

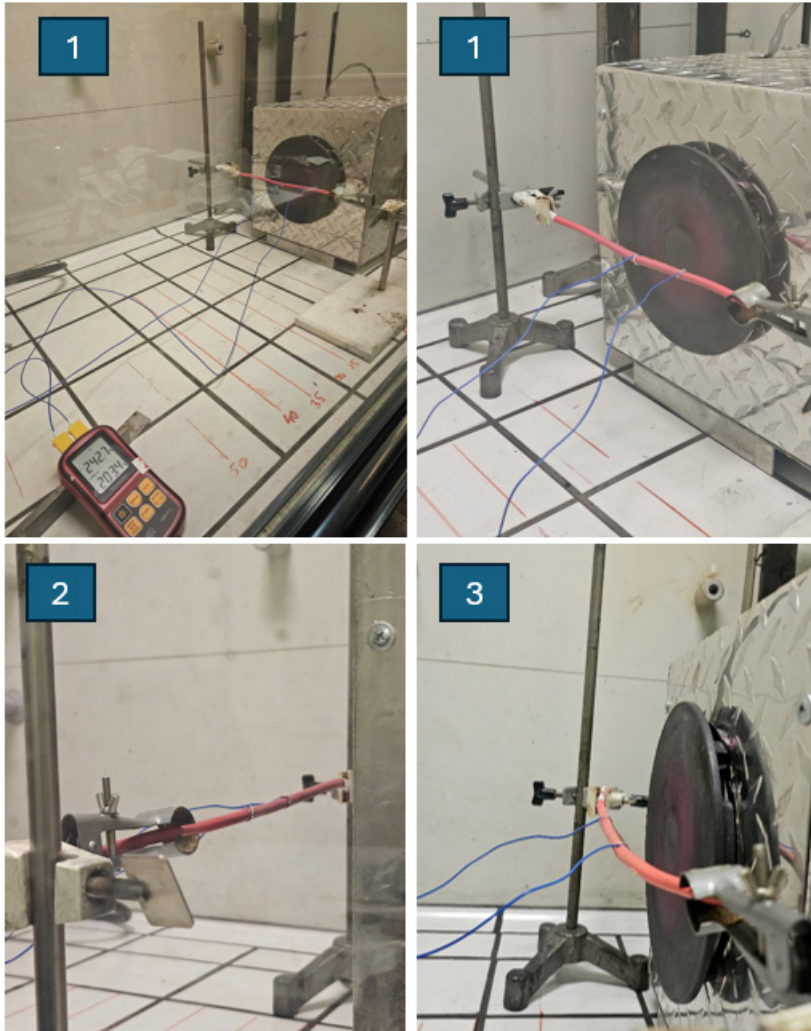


Figure 4: Sample measurement layout, showing thermocouple placement
Source: compiled by the author

Measurement of the base load curve (heat flux calibration)

The temperature and the associated heat flux, i.e. mV, were measured at different distances from the iron core. The heat flux is obtained by calculation according to Table 4.

$$\Phi = U/S \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{Manufacturer's data } S = 0.303 \times 10^{-6} \text{ V/(W/m}^2\text{)}$$

$$\text{Calibration uncertainty } + 0.017 \times 10^{-6} \text{ V/(W/m}^2\text{)}$$

The measured values and calibration are shown in Figure 5.

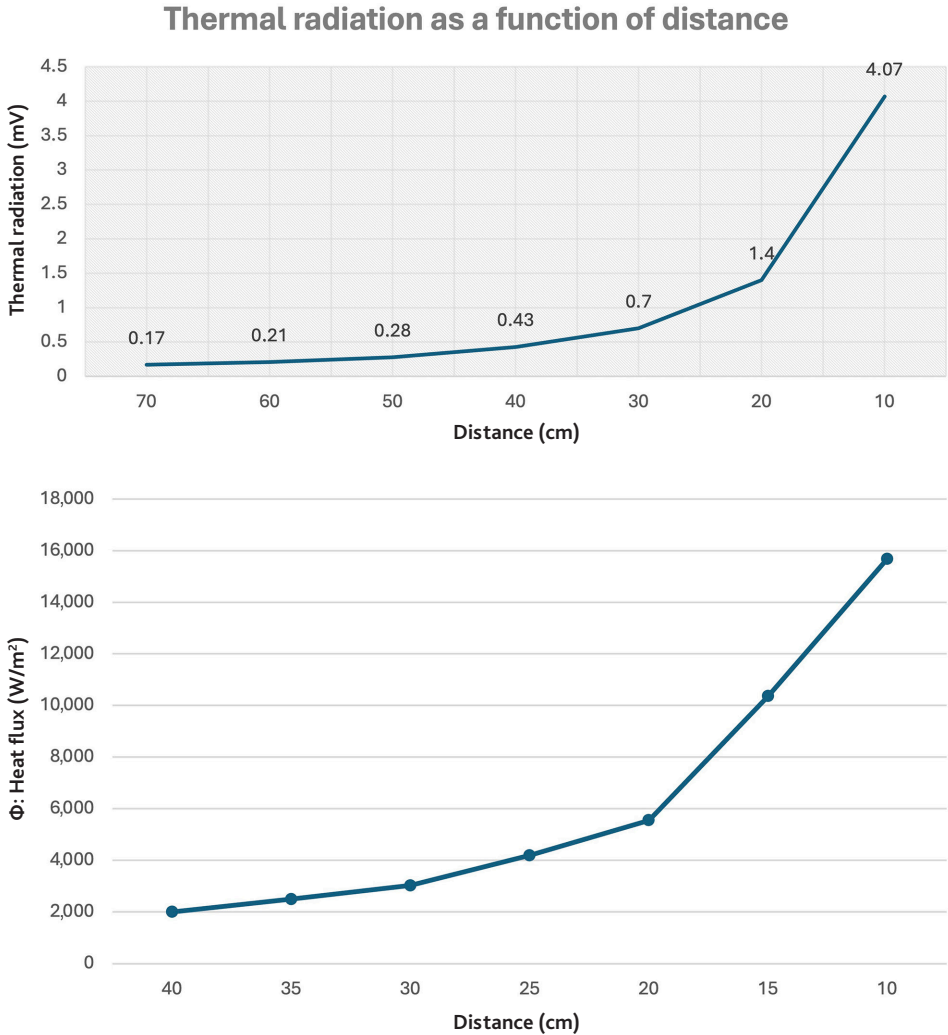


Figure 5: SBG01 voltage and calculated heat flux values by distance from the iron core
Source: compiled by the author

Table 4: Voltages and calculated heat flux values at distance from iron core

| Distance from the iron core (cm) | mV SBG01 | Φ (W/m ²) |
|----------------------------------|----------|----------------------------|
| 10 | 4.07 | 15,677.84 |
| 15 | 2.7 | 10,362.51 |
| 20 | 1.4 | 5,553.55 |
| 25 | 1.1 | 4,191.90 |
| 30 | 0.7 | 3,030.75 |
| 35 | 0.6 | 2,494.55 |
| 40 | 0.43 | 2,007.39 |
| 50 | 0.28 | – |
| 60 | 0.21 | – |
| 70 | 0.17 | – |

Source: compiled by the author

Results

Our observations, the behaviour of the samples under different heat fluxes are shown in the Figures 6, 7, 8 below. Typically, three phenomena were observed:

- discoloration, which is the first sign of thermal decomposition
- appearance of smoke
- the appearance of fusion (blistering)

For each sample, I have indicated at which temperature and at which heat load each damage starts. The distance from the iron core was only used to ensure the desired heat flux in this way.

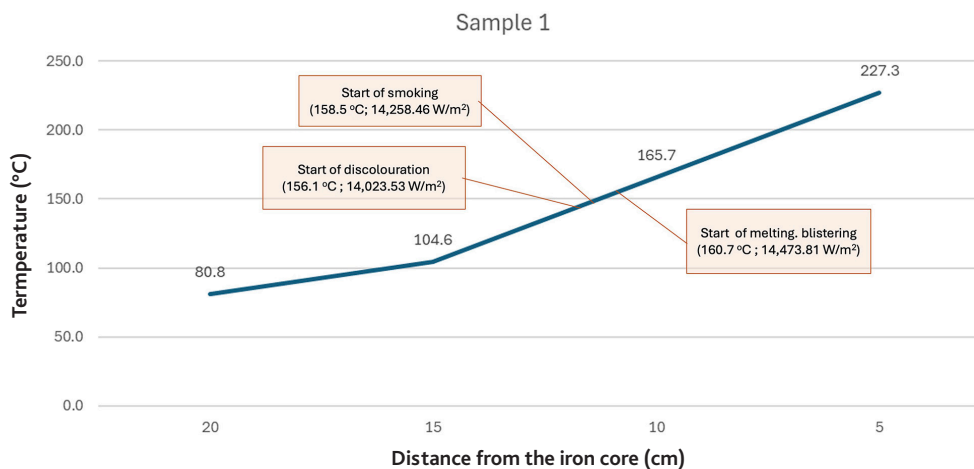


Figure 6: Visual thermal behaviour of NOBURN XPS. type, Sample 1
Source: compiled by the author

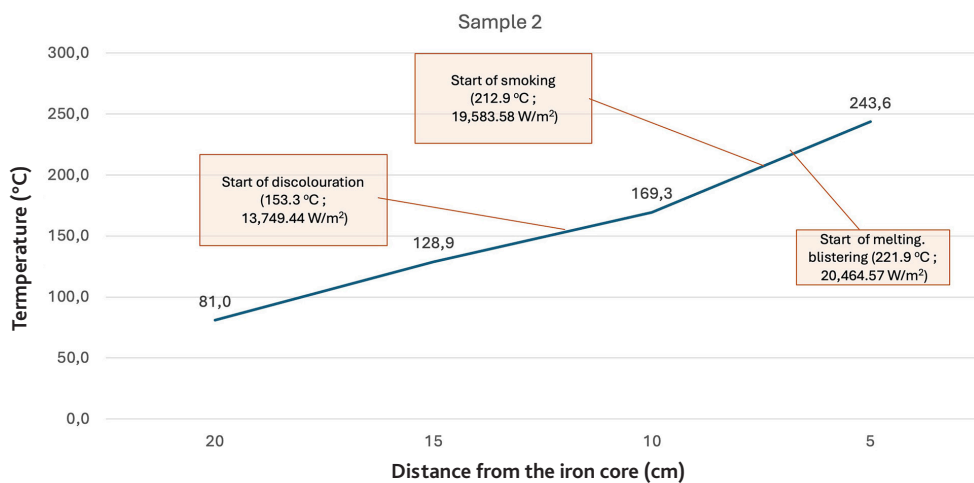


Figure 7: Visual thermal behaviour of KABTEK JE-H(St.)H.Bd. type Sample 2
Source: compiled by the author

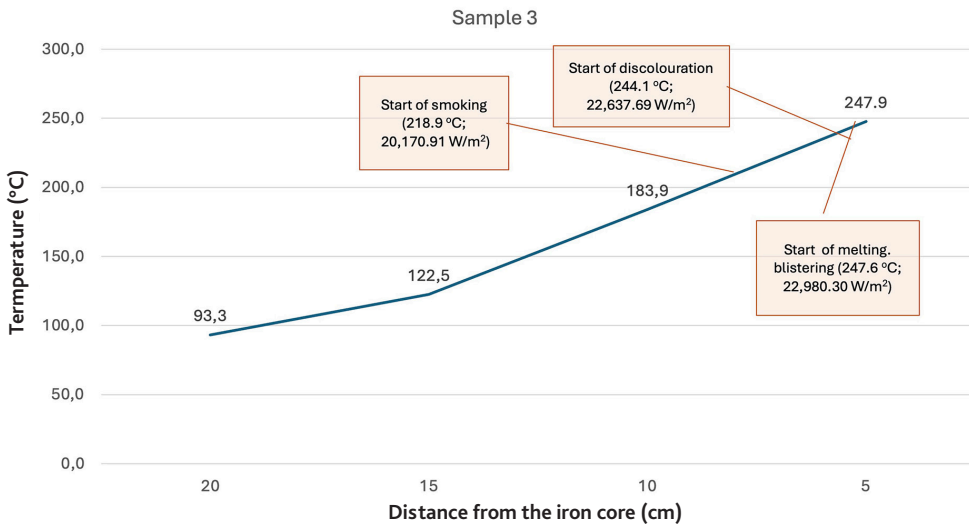


Figure 8: Visual thermal behaviour of S.FIRE PROOF JB-H(ST.)H type Sample 3

Source: compiled by the author

Table 5: Visual thermal behaviour of samples

| Observed phenomenon, behaviour | Sample 1 | | Sample 2 | | Sample 3 | |
|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Temperature (°C) | Heat flux (W/m ²) | Temperature (°C) | Heat flux (W/m ²) | Temperature (°C) | Heat flux (W/m ²) |
| Start of discolouration | 156.1 | 14,023.53 | 153.3 | 13,749.44 | 244.1 | 22,637.69 |
| Start of smoking | 158.5 | 14,258.46 | 212.9 | 19,583.58 | 218.9 | 20,170.91 |
| Start of melting, blistering | 160.7 | 14,473.81 | 221.9 | 20,464.57 | 247.6 | 22,980.30 |

Source: compiled by the author

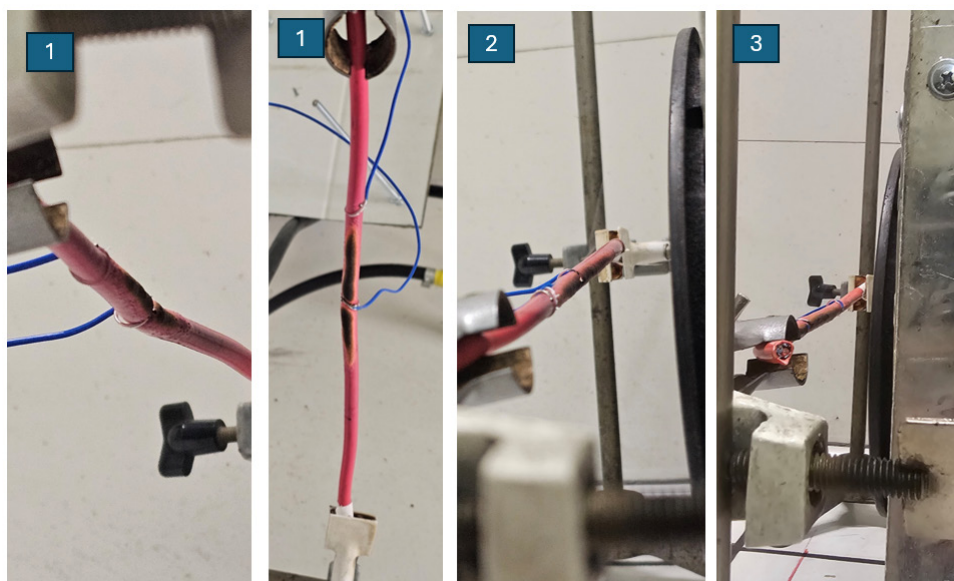


Figure 9: Damages to samples due to heat stress
Source: photographed by the author

Conclusions

I observed various signs of damage and pyrolysis in all three samples as you can see the summarised data in Table 5. Uniformly, at 150 °C, thermal degradation began with carbonisation. The discolouration is already the result of chemical decomposition. The next process at 200 °C is the formation of smoke, with pyrolysis behind it, i.e. combustible vapours appear. This temperature range is also uniform. All three polymer claddings are ruptured, i.e. perforated, exposing the metallic conductor. Here we can only distinguish between the cables in terms of temperature, the sheath rupture of Sample 1 is 170 °C, which is the least resistant sample, however the most resistant is Sample 2 (250 °C). These cable types are factory-classified as fire-resistant cables, yet I found during my tests that, as I suspected, the damage process visibly begins even at low temperatures.

Summary

I examined the effects of the first (lowest) temperature range on the most commonly used cable samples when the plastics are exposed to temperatures below the ignition point, i.e. below 300–400 °C. My hypothesis that the plastic sheathing had already been damaged at very low temperatures and was even showing signs of thermal decomposition (discolouration, smoke formation) was confirmed. This is considered the most critical range from a fire safety

point of view, because the main hazard is the heat which is not visible but it already starts degradation processes that can produce combustible gases and vapours. At this point, the plastic structure decomposes which can lead to the formation of smoke, as shown by the samples tested. The maximum operating temperature specified by the manufacturers can be up to 125 °C which requires special care when using the material.

It is worth noting that fire-resistant cables do not show early thermal degradation even at moderate temperatures.

References

- BENKE, István – PAPP, Csenge – KERÉKES, Zsuzsa – KUTI, Rajmund (2023): Investigation of Combustion Gases of Li-ion, Ni-Cd and Pbq Batteries. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 18(2), 101–106. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2022.00638>
- ELEK [s. a.]: *Temperature Limits for XLPE Insulated Cables*. Online: <https://elek.com/articles/temperature-limits-for-xlpe-cables/?srsltid=AfmBOooavXHOL1yNBAh4vz6d1LfqviyxawVDaK-FiCKuvVdwOjXdNOHW>
- GYÖNGYÖSSY, ÉVA (2024): Fire Protection Certification Opportunities of Cable Systems Placed in Operationally High-Temperature Spaces by Using the Oxygen Index. *Védelem Tudomány*, 9(3), 29–44. Online: <https://doi.org/10.61790/vt.2024.15683>
- KUTI, Rajmund – TÁNCZOS, Péter – TÁNCZOS, Zoltán – STADLER, Tamás – PAPP, Csenge (2025): Examination of Harmful Substances Emitted to the Environment During an Electric Vehicle Fire with a Full-Scale Fire Experiment and Laboratory Investigations. *Journal of Experimental and Theoretical Analyses*, 3(1), 1–13. Online: <https://doi.org/10.3390/jeta3010001>
- PILGRIM, James – ANDRITISCH, Thomas – LEWIN, Paul – CALLENDER, George (2024): *Thermal Limit of XLPE Insulation: Is 90 Still the Magic Number?* In CIGRE Paris Session 2024, Palais des Congrès, Paris, France. 25–30 Aug 2024. Online: https://eprints.soton.ac.uk/493901/1/B1_PS2_Paper_10405_revised_RED_LINE_VERSION_2_accepted.pdf
- PISSINOS, Georgios (2015): *Elektromos tüzek és tűzoltó anyagok – Mivel célszerű oltani?* Online: <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/505-elektromos-tuzek-es-tuzolto-anyagok-mivel-celszeru-oltani.pdf>
- TA YU Science Co. (2023): *TÜV SÜD LAB notified TA YU [CAN-BUS CABLE] to pass ISO 6722-1:2011 flame retardancy test*. TA YU Science Co., 5 December 2023. Online: <https://www.tayui.com.tw/h/NewsInfo?key=0strx&cont=420699>
- YAMADA, Hiroyuki – NAKAGAWA, Shinichi – KISHI, Kouji – KATAKAI, Shoshi (2003): Development of Heat-Resistant XLPE Cable and Accessories. *IEEE Transactions on Power and Energy*, 123(12), 1554–1561. Online: <https://doi.org/10.1541/ieejpes.123.1554>
- YONG, Li – SHENGMING, Kang – WENWEN, Han – FENGFU, Yin (2024): Synergistic Effects Between Mixed Plastics and Their Impact on Pyrolysis Behavior and Pyrolysis Products. *Molecules*, 29(24). Online: <https://doi.org/10.3390/molecules29246059>

Tartalom

| | |
|---|-----|
| HEGEDŰS GERGELY, MOLNÁR PÉTER, DARUKA NORBERT: <i>Robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésének technológiai előkészítése</i> | 5 |
| SZALKAI LÁSZLÓ: <i>Additív gyártási technológiával előállított idomtöltetek alkalmazhatóságának kérdése a rendvédelmi, speciális feladatokat ellátó egységeknél</i> | 25 |
| ISTVÁN EMBER: <i>Defence Industry Applications for Multi- Material Additive Manufacturing</i> | 39 |
| BRENDA DALMA BARBARA, KANYÓ FERENC, HORVÁTH GALINA, VÁSÁRHELYI-NAGY ILDIKÓ: <i>A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 2. rész</i> | 47 |
| PAP ANDREA, VÉG RÓBERT LÁSZLÓ: <i>Térszemlélet fejlesztése a katonai logisztikában 3D-nyomtatás és számítógéppel támogatott műszaki modellezés (CAD) által – 1. rész</i> | 69 |
| HORVÁTH ZOLTÁN: <i>Az energiabiztonság pénzügyi és gazdasági kihatásainak elemzése</i> | 85 |
| IGAZ-DANSZKY TAMÁS: <i>A Pajzs tömeges események kezelésével kapcsolatos legújabb fejlesztéseinek vizsgálata</i> | 109 |
| KOMLAI KRISZTINA: <i>A teherhordó trapézlemez alapszerkezetű tetőfödémek tűzvédelmi megfelelőségének kihívásai</i> | 125 |
| ÉVA ETELKA GYÖNGYÖSSY: <i>Fire Hazard of Fire-Resistant Cables Below the Ignition Point</i> | 139 |